



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학박사학위논문

비구조화된 실질적 문제 해결 중심의
과학탐구에서 논변기반
문제 해결 과정의 이해

Understanding Problem Solving Process Based on
Argumentation in Scientific Inquiry of
Authentic and Ill-structured Problem

2014년 8월

서울대학교 대학원

과학교육과 화학전공

백중호

국 문 초 록

비구조화된 실질적 문제 해결 중심의 과학탐구에서 논변기반 문제 해결 과정의 이해

과학 교과학의 핵심적인 목표는 우리 주변의 문제들에 대해 비판적이고 합리적으로 사고하여 해결할 수 있고, 과학적 소양을 갖춘 시민을 양성하는 것이다. 과학적으로 문제 상황을 해석하고 현상을 설명할 수 있는 학습의 한 방법으로, 과학 탐구는 오랜 기간 동안 연구되고 사용되었다. 과학자들이 수행하는 활동은 현상에 대해 조사하고 타당한 설명을 구성하는 과정과 다른 과학자들에게 자신의 주장을 설득하고 정당성을 획득해 합의에 이르는 과정을 포함한다. 본 연구에서는 과학자들이 수행하는 탐구의 특성을 학습자들을 위한 탐구로 적용할 수 있는 방안을 탐색하였다. 이를 위해 이론과 증거가 일치하지 않는 상황의 문제를 강조한 탐구 활동을 개발하고 적용 사례를 통해 드러난 쟁점들을 확인하였다. 쟁점들을 토대로 실질적인 사고를 촉진하여 문제를 해결할 수 있는 탐구를 제안하였다.

첫 번째 연구는 총 21명의 대학생이 과학적 맥락의 문제를 해결하기 위해 탐구를 수행한 결과를 분석하여 문제 해결을 위한 전략을 확인하였다. 참여자들은 '닫힌 공간 안에 물과 소금물이 충분한 시간 동안 유지된 상태에서 어떤 결과가 나타날 것인가'에 대한 문제를 6주에 걸쳐 해결하였다. 이 문제에 대한 탐구 과정, 예상과 결과가 다를 때의 이론과 증거의 조정과정을 분석한 결과에 의하면, 10개 집단 중, 9개의 집단은

실험 최적화 전략을 활용하였다. 이론에 부합하는 실험증거를 획득하기 위한 실험 최적화 전략은, 이론을 기반으로 수집한 자료를 평가하여 증거를 수정하는 인식적 활동에 해당했다. 한 소집단은 현상에 대해 차별화된 설명 모형을 검증하기 위한 확장된 문제 형성 전략을 이용했다. 이를 기반으로 문제 현상에 대해 다른 소집단과 차별화된 결과를 제시하여 실세계를 반영한 이해에 도달했다. 확장된 문제 형성 전략은 증거를 패턴으로 일반화하는 과정을 거쳐, 증거 기반의 평가를 통해 문제를 정의함으로써 이루어졌다. 실험 최적화 전략 집단은 개선된 실험 결과 획득을 돕는 실험 방법과 과정을 공유하기 위하여 실험실 내 담화를 이용한 반면, 확장된 문제 형성 전략 집단은 자료나 증거를 수집하고 평가하기 위하여 담화를 이용하는 차이점을 드러냈다. 연구 결과를 통해 자료, 증거, 이론과 같은 요소를 평가하고 분석하기 위한 목적으로 의사소통 할 수 있는 교수학습 전략이 필요함을 확인하였다.

두 번째는 논변활동을 촉진하기 위한 쟁점 사안들을 기반으로 탐구 기반의 논변 프로그램을 개발한 연구이다. 논변활동의 촉진을 위하여 '기체의 온도와 부피의 관계' 프로그램을 개발하여 현직 교사들에게 적용하고 결과를 기반으로 논변 과제를 수정하였다. 이를 위해 참여자들의 논변 양상을 TAP과 주장의 논리적 측면을 기반으로 분석하였다. 연구 결과에 의하면 열린 탐구 형태보다 명시적으로 논의의 주제를 실험 변인으로 제한하고 의견합의를 유도할 때, 과학적 논의와 평가가 활발했다. POE 학습 모형의 형태로 적용한 결과에 의하면, 실험 결과는 맥락에 따라 의견 합의의 결정적인 근거로서 사용될 수 있음을 확인하였다.

앞선 두 연구를 통해 실질적인 사고와 논의를 촉진할 수 있는 연구의 시사점을 확인하였고, 실질적인 사고를 촉진하기 위하여, 논변기반의 실질적 사고 촉진 모형(Authentic Thinking with Argumentation, ATA)을 구성하였다. ATA 모형은 일상적 맥락의 문제에 대하여 증거를 평가

하고 초기 예상이나 이론과 비교함으로써 문제 해결을 달성하는 것을 목표로 하였다. 이를 구현하기 위해 디자인과 과학의 융합 형태로 ATA 모형에 기반한 프로그램을 구성하였다. ATA 모형을 이용한 문제 해결 과정을 알아보기 위하여, 중학생을 대상으로 '부력'과 '장애인 보조 수영복 제작'을 융합한 문제를 소집단 활동으로 제시하였다. 연구 결과에 의하면, 참여자들은 수영복 제작을 위해 과학 개념을 중요한 전제로 선정하고, 이에 기반하여 논의하고 합의하여 타당성을 확보한 결과를 도출하였다. 한편 참여자들은 본인들이 가지고 있는 개념인 이론과 증거의 불일치 상황에서 과학적 모형을 확장하여 부력의 개념을 이해하였다. 또한 참여자들은 비구조화된 문제를 해결하기 위하여, 문제 해결의 핵심으로 전제를 설정하고 디자인 최적화를 위한 전략적인 과정을 수립하였다. 전략적 과정을 달성하기 위해서는 직관적 사고와 더불어 분석적 사고가 필요함을 확인하였다.

세 연구의 사례를 통해 학습자들이 이론과 증거의 조정과 과학적 담화를 통해, 어떻게 문제를 해결하는지 확인하였다. 또한 비구조화된 문제를 이용한 학습 모형을 구성하여, 과학적 능력을 신장하기 위한 탐구의 방향을 제안하였다. 추후로는 다양한 학습자와 학습의 맥락, 다양한 주제를 기반으로 본 연구의 결과를 확장하고, 학습자들의 문제 해결 전략과 과정을 탐색하는 연구가 필요할 것이다.

주제어: 과학탐구, 논변활동, 융합교육프로그램, 비구조화된 문제,
과학적 모형

학번: 2008-21631

목차

I. 서론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구 목적 및 연구 문제	7
3. 연구의 개요	9
4. 용어의 정의	11
5. 연구의 제한점	13
II. 이론적 배경	14
1. 과학탐구	14
1.1 실질적 과학탐구	14
1.2 과학탐구와 과학적 모형	19
1.3 비구조화된 문제	21
2. 논변활동	23
2.1 논변의 정의와 역할	23
2.2 논변활동과 과학탐구	26

3. 문제 해결과 디자인 활동	29
3.1 문제 해결 과정의 융합적 성격	29
3.2 디자인 사고와 공학적 설계	31
III. 실질적 과학탐구의 문제 해결 과정과 전략의 특징	35
1. 연구 방법 및 절차	35
1.1 프로그램 맥락	35
1.2 연구 참여자	38
1.3 자료 수집 및 분석	38
2. 연구 결과 및 논의	42
2.1 집단 내 문제 해결 과정의 전략과 특징	42
2.1.1 실험 최적화 전략	45
2.1.1.1 통제 변인의 조정	45
2.1.1.2 조작 변인의 조정	47
2.1.1.3 실험 도구 및 기타 요인의 조정	51
2.1.2 확장된 문제 형성 전략	53
2.1.2.1 이론의 검증	53
2.1.2.2 외부 증거의 수집과 활용	55

2.2 집단 간 문제 해결 과정의 의사소통과 특징	58
2.2.1 실험 최적화 전략	60
2.2.2 확장된 문제 형성 전략	65
2.3 과학적 의사소통으로서 논변의 중요성	69
3. 요약	70
 IV. 과학적 논변활동 촉진을 위한 과제의 개발과 적용	73
1. 연구 방법 및 절차	73
1.1 프로그램 개발과 적용	73
1.1.1 개발 원리의 구성	73
1.1.2 개발 원리의 적용	76
1.2 연구의 맥락과 연구 참여자	81
1.3 자료 수집 및 분석	83
2. 연구 결과 및 논의	89
2.1 논변 양상 및 결과	89
2.1.1 논변 구조 프로파일	90
2.1.2 논변 구성의 논리적 측면	91
2.2 논변 과제 개발의 쟁점	93

2.2.1 과제 특성: 논변 주제의 구조화	93
2.2.2 과제 특성: 의견 합의의 유도 방안	99
2.2.3 실험 결과의 활용과 의견 합의의 특성	105
3. 요약	110
 V. 과학탐구와 디자인의 융합 프로그램 중의 문제 해결 과정과 논변활동 탐색	113
1. 연구 방법 및 절차	115
1.1 논변기반의 실질적 사고 촉진 모형 (Authentic Thinking with Argumentation, ATA)의 구성	115
1.1.1 ATA 과정	117
1.1.2 문제와 과제	120
1.1.3 학습 자료	124
1.1.4 교수 지원	128
1.2 ATA의 수업 적용	130
1.3 연구 참여자	137
1.4 자료 수집 및 분석	141
2. 연구 결과 및 논의	146

2.1 ATA 과학 활동 영역의 문제 해결 특징	147
2.1.1 실험 증거와 이론과 불일치	148
2.1.1.1 이론 기반 평가	149
2.1.1.2 증거 기반 평가	156
2.1.2 실험 증거와 이론의 일치	162
2.1.3 실험 관찰의 단순 서술	164
2.2 ATA 디자인 활동 영역의 문제 해결 과정과 특징	167
2.2.1 디자인 문제 해결 과정	167
2.2.1.1 다양한 영역의 전제 사용	171
2.2.1.2 전제 구현을 위한 의사결정	174
2.2.1.3 전제 기반 평가	180
2.2.2 디자인 문제 해결 특징	185
2.2.2.1 디자인 문제 해결중의 과학적 사고와 활동	186
2.2.2.2 디자인 문제 해결중의 최적화 전략	191
3. 요약	197

VI. 결론 및 제언.....	203
1. 결론	203
2. 제언	212
참고문헌.....	217
부록	244
Abstract	272

〈표 목차〉

〈표 III-1〉 '물과 소금물의 증발' 실험에 대한 결론과 문제 정의에 따른 분류	43
〈표 IV-1〉 과학 논변 프로그램 개발을 위한 개발 원리와 세부 요소	74
〈표 IV-2〉 샤를의 법칙 관련 실험의 맥락에서 적용한 개발 원리	77
〈표 IV-3〉 연구 참여자의 코드	82
〈표 IV-4〉 TAP 을 이용한 논변 구조 프로파일 분석의 예시	84
〈표 IV-5〉 TAP 을 이용하여 분석한 논변 구조 프로파일	90
〈표 IV-6〉 CER 분석을 이용한 추론의 타당성에 대한 분석 결과	92
〈표 IV-7〉 명시적 논변 주제 제시를 위한 과제 제시의 수정 예시	94
〈표 IV-8〉 의견 합의의 명시적 지시를 위한 과제 제시의 수정 예시	100
〈표 IV-9〉 POE 단계에 따른 담화 양상	106
〈표 V-1〉 부력에 대해 참여자들이 가지고 있는 선개념 검사 결과	140
〈표 V-2〉 담화 요소에 따른 분석의 예	145
〈표 V-3〉 풍선이 부풀 때 무게 변화에 대한 예측 단계의 담화	151

<표 V-4> 문제 2와 문제 3을 통합하는 설명 모형 구성의 담화... 158	158
<표 V-5> 문제 2와 문제 3을 통합하기 위해 교사가 제공하는 인지적 지원과 담화..... 160	160
<표 V-6> 가지 달린 삼각플라스크에 추를 넣어 무게를 측정할 때 무게 변화에 대한 설명 단계의 담화 164	164
<표 V-7> 전제 '수영 보조 기능'에 대한 담화..... 173	173
<표 V-8> 전제 '미적 측면'과 '경제성'의 상충 관계에 대한 담화.... 180	180
<표 V-9> 전제 '상하체의 균형'을 위한 기능 결정에 전제 '경제성'이 평가 근거로 사용되는 담화..... 178	178
<표 V-10> 전제 '상하체의 균형'의 관점에서 평가한 1차 시범 적용 결과에 대한 담화 184	184
<표 V-11> 수영복을 입혔을 때, 작용한 부력의 크기를 계산하기 위한 전략과 수행 과정 188	188
<표 V-12> 디자인 최적화 전략 수립 실패 집단의 전제 폐기와 기능 축소 사례의 담화 195	195

〈그림 목차〉

〈그림 I-1〉 연구의 흐름	9
〈그림 III-1〉 문제 해결을 위한 탐구 과정	36
〈그림 III-2〉 물과 소금물의 증발과 응축	37
〈그림 III-3〉 탐구 과정 분석 사례	40
〈그림 III-4〉 모듈 G의 통제 변인 변경의 예시	47
〈그림 III-5〉 모듈 A의 조작 변인 변경의 예시	48
〈그림 III-6〉 모듈 A의 실험 설계 흐름에 따른 탐구 수행 과정과 결론	50
〈그림 III-7〉 용액과 용매의 증기압 차이 검증을 위한 탐구 수행 과정과 실험 장치	54
〈그림 III-8〉 용매가 일정 조건에서 이동하지 않음을 검증하기 위한 탐구 수행 과정	56
〈그림 III-9〉 모듈 B가 사용한 용액과 용매의 끓는점 차이 확인을 위한 실험 과정	57
〈그림 III-10〉 실험 최적화 전략과 확장된 문제 형성 전략의 탐구 과정에서 나타난 피드백의 차이	60

<그림 III-11> 실험 최적화 전략 집단의 이론과 증거의 조정과 실험실 내 담화 사용 양상	63
<그림 III-12> 확장된 문제 형성 전략 집단의 이론과 증거의 조정과 실험실 내 담화 사용 양상.....	68
<그림 IV-1> 샤를의 법칙 논변 프로그램의 진행 과정.....	78
<그림 IV-2> 샤를의 법칙 논변 프로그램 <문항 3>의 예시.....	80
<그림 IV-3> 정교화 분석 예시	87
<그림 IV-4> CER 틀을 이용한 분석의 예시	88
<그림 IV-5> 1 차 프로그램의 <문항 1> 과정에서 제기된 주장의 구조	96
<그림 IV-6> 2 차 프로그램의 <문항 3> 과정에서 제기된 주장의 구조	97
<그림 IV-7> 3 차 프로그램의 <문항 3> 과정에서 제기된 주장의 구조	99
<그림 IV-8> 2 차 프로그램 <문항 1>의 참여자 간 논변 양상 모식도	102
<그림 IV-9> 3 차 프로그램 <문항 1>의 참여자 간 논변 양상 모식도	104
<그림 IV-10> 2 차 프로그램 <문항 3>의 참여자 간 논변 양상 모식도	108

<그림 IV-11> 3 차 프로그램 <문항 3>의 참여자 간 논변 양상 모식도	109
<그림 V-1> ATA 모형의 개발 원리	116
<그림 V-2> POE-DOE 의 순환구조로 구성한 ATA 과정.....	119
<그림 V-3> 과학 탐구 기반 논변활동에서 사용하는 문제 상황과 POE 단계	122
<그림 V-4> 동영상을 활용한 물속에서의 부력 측정 실험 지원.....	127
<그림 V-5> ATA 모형이 적용된 수업의 흐름	131
<그림 V-6> 부력 개념의 이해를 위한 구성한 문제 상황에 대한 실험 증거와 이론의 비교.....	134
<그림 V-7> 하반신 마비 장애인의 비유 모형을 물에 띄운 결과....	136
<그림 V-8> 풍선의 무게가 감소하는 현상을 설명하기 위해 사용한 그림 모형의 사례	143
<그림 V-9> 단계 1 에서의 이론 기반 평가 (a) 첫 번째 문제 상황에 대해 설명 단계에서 최종적으로 도출한 설명 모형, (b) 이론과 증거의 조정 과정	153
<그림 V-10> 단계 4 에서의 이론 기반 평가 (a) 닫힌 공간에서는 부피가 무게 측정에 영향을 주지 않음을 설명하는 모형, (b) 설명 모형에 기반한 실험 설계	154
<그림 V-11> 닫힌 공간에서 부피가 변화하는 물체를 측정할 때의 무게 측정값에 대한 POE 활동의 담화 양상과 결과	155

<그림 V-12> 증거 기반 평가를 통해 설명 모형을 이론적으로 확장하는 논변활동의 양상.....	156
<그림 V-13> 물속과 물 밖에서 물체의 무게를 측정할 때의 무게 측정값에 대한 POE 활동의 담화 양상과 결과.....	163
<그림 V-14> 과학 탐구 중에 나타난 논변의 결과와 이론과 증거의 조정 양상.....	166
<그림 V-15> 수영복 디자인의 산출물과 변화 양상.....	168
<그림 V-16> 최종 제작한 판매 홍보용 포스터와 수영복을 입힌 모형을 물에 띄운 결과.....	170
<그림 V-17> 전제 '착용의 편리성'의 실현 기능의 결정을 위한 담화 양상	176
<그림 V-18> 전제 '상하체의 균형'의 실현 기능의 결정을 위한 담화 양상	177
<그림 V-19> 전제 '상하체의 균형'을 위한 기능 결정에 전제 '경제성'이 평가 근거로 사용되어 주장의 변경되는 사례.....	183
<그림 V-20> 홍보용 포스터 구성을 위해 계산한 부력의 크기.....	187
<그림 V-21> 상체와 하체의 균형을 위한 밀도의 크기를 결정하는 계산 과정.....	190
<그림 V-22> 디자인 논변활동의 과정과 디자인 최적화 전략.....	192

〈그림 V-23〉 디자인 최적화 전략 수립 실패 집단의 수영복 디자인 사례	194
--	-----

I. 서론

1. 연구의 필요성

과학 교과에서 무엇을 학습하고 왜, 어떻게 학습해야 되는지에 대해서는 지속적인 연구, 수업 실행과 반성을 통해 끊임없이 논의되고 있다. 과학의 학습은 과학을 구성하는 개념과 지식의 습득에서부터, 과학적 실행에 대한 이해와 숙달, 과학적으로 사고하는 능력의 신장, 과학 자체에 대한 이해까지 광범위한 영역을 목표로 삼고 있다. 갈수록 복잡해지는 사회의 구성과 합리적 의사소통이 강조됨에 따라 과학 교육에서도 과학적으로 사고할 수 있는 학습자 양성에 초점을 두고 있다. 특히, 사회를 구성하는 요소들이 다양해지고, 서로 밀접하게 영향을 주고 받음에 따라 과학 내부의 영역뿐 아니라 다른 영역과 맥락에 걸쳐 활용하는 것을 목표로 하는 학습이 강조되고 있다. 따라서 과학을 학습하는 것은 단순히 과학을 구성하는 지식과 내용만을 습득하는 것이 아니라, 과학 자체에 대한 이해와 과학적 소양의 증진을 목표로 하는 다양한 전략과 학습 방안이 제시되고 있다(AAAS, 1993; Hand *et al.*, 1999; Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008).

과학적 소양의 중요성이 강조됨에 따라, 과학의 언어와 방법을 이용하여 사회 문제에 비판적으로 참여할 수 있는 능력은 과학 학습을 통해 달성해야 하는 핵심적 역량으로 여겨진다(Hodson, 2009). 과학적 소양

은 과학이란 무엇인지, 우리 주변과 어떠한 관련을 맺고 있는지 이해하는 사회적인 기능과 이해의 수준에서, 내 주변에 실재하는 과학을 읽고 쓰며, 사용하는 실천적인 영역에 이른다(Shen, 1975). 이에 과학을 어느 수준까지 읽고 사용해야 하는지에 대한 기준은 다양하게 제시되고 있다. 신문에 게재되는 글을 읽을 수 있는 수준에서(Miller, 2004), 전문가로서 필요한 지식, 기술, 태도로 정의하기까지 다양하지만, 기본적으로 과학 지식이 담긴 내용을 읽을 수 있어야 함에는 큰 이견이 없다(Atkins & Helms, 1992; Kintgen, 1988; McNeill, 2009).

과학적으로 사고하여 문제를 해결할 수 있는 능력과 기능에 대한 과학적 소양의 관점에서, Hodson(2009)은 과학적인 관점에서 전달하고자 하는 바가 무엇인지 알고, 사회적 이슈들에 대해 과학적 기준에 맞춰 결론을 도출할 수 있는 능력이 필요하다고 하였다. 즉, 전문가들의 의견을 맹목적으로 동의하거나 반대하는 것이 아니라, 지적 독립체로서 활동할 수 있는 시민을 양성하는 것이 필요함을 강조했다. 이슈에 대해 해석하고 의견을 형성하려면, 사안으로부터 문제를 제기하고, 타당한 근거와 배경 이론을 활용하여 뒷받침할 수 있는 능력이 필요하다. 따라서 문제를 해결하는 경험을 토대로 의사결정을 내릴 수 있는 능력으로 정의할 수 있는 과학적 소양이 필요하다(Roth & Barton, 2004).

과학의 학습과 과학적 소양의 증진이라는 목표를 위해 오랜 기간 동안 강조되고 사용했던 탐구는 '과학자들이 하는 활동'으로 정의할 수 있다. NRC(2000)에서 제시한 탐구의 정의에 의하면 과학 탐구는 단순한 조작적 기능뿐 아니라, 문제를 제기하고, 증거를 선택하고, 증거로부터 현상을 설명하기 위해 사고하며 지식을 합의하여 구성하는 일련의 과정을 포함한다. 과학자들은 증거와 이론 사이에서 끊임없는 조절 과정을

거치고 과학적 의사소통을 통해 과학 지식을 새롭게 구조화 하고 있다. 과학 교육 내에서는 과학 자체에 대한 학습과 지식 형성 과정을 이해하기 위해 과학 탐구를 강조하고 있다(Schwartz & Lederman, 2008). 특히 지식을 구성하는 과정에서 인지적이고 인식론적인 활동을 경험하고 과학적으로 사고할 수 있도록 연계한, '과학 하기(doin science)'를 강조하고 있다(Crawford *et al.*, 2000; 박영신, 2006).

하지만 학교 과학에서 실질적인 사고 과정을 통해 지식을 구성할 수 있는 경험을 갖기는 쉽지 않다. 이는 과학 지식에 대해 담화가 갖는 본성 때문이다. 과학자들이 현상에 대한 설명을 구성하여 합의에 이르면 정당성을 확보함에 따라 다른 변칙 사례가 발생하기 전에는 일반적으로 변경되기 어렵다. 합의가 완료되어 오랜 기간에 걸쳐 사용되면 지식과 구성과정은 더 이상의 논의가 일어나기 어렵고 사물과 현상에 대한 확고한 설명인 것처럼 여겨진다. 일반적으로 학교에서 학습하는 과학 지식들은 이러한 종류의 지식들로, 대부분 논의가 불가능한 형태로 기술된다(Sutton, 1992). 정당성을 확보한 지식은 과학 수업의 목적을 확립된 과학 지식을 전달받는 것으로 한정하고(Wellington & Osborne, 2001), 논의 과정을 수업 시간에서 배제시켜 사고와 행동의 관점에서 학습자를 수동적으로 만든다(Driver *et al.*, 2000; 김희경과 송진웅, 2004). 특히 Kim & Tan(2011)의 연구에 의하면 과학교사들은 과학의 합의 과정의 중요성을 인지하고 있지만, 수업 시간에는 정론으로 인정받는 과학 지식을 습득하기 희망하여 딜레마 상황에 빠진다. 딜레마를 극복하기 위해 교실에서의 학습은 학생들 간에 논의를 통한 다양한 반박 가능성을 제기하기 보다 옳은 답의 제시가 필요하다고 여기는 교수 상황으로 이어진다.

과학 지식에 대한 담화의 특성 이외에도 교육 환경의 특성도 과학에

대한 학습을 제한시킨다. 현재의 교실 환경은 학습해야 하는 개념의 방대함, 학습자의 인지구조를 고려하지 않는 교과 과정, 문제 해결 과정의 부재, 개념 확인의 목적으로 한정된 탐구 과정과 같은 문제점을 갖고 있다(한수진 등, 2011; 박현주, 2013). 이러한 문제점들은 실험 실습을 수업시간에서 배제하거나 제한적으로 검증을 위한 용도로 이용하게 한다. 교육의 목표가 한정되는 맥락은 철학적으로 실질적 논의를 수행하고자 하는 교사들이 실천을 통한 학습을 축소하고, 전통적 교수 양식만으로 수업을 구성하게 만든다.

방대한 학습량, 딜레마 상황에 놓인 교실 상황과 같은 사회문화적 측면으로 인해 학습자들은 과학적으로 논의할 수 있는 기회가 부족하다. 탐구의 역할도 이에 따라 근거를 이용하여 현상에 대한 설명을 제시하고 설득하기 위한 과정과 방법이 아닌, 정론으로 인정받는 과학 지식을 검증하기 위해 현상을 관찰하고 확인하는 형태로 축소되었다. 따라서 학습자는 과학 지식의 본질적인 측면을 접할 기회를 잃고, 실험 결과가 학습한 정론에 부합하는가에 대한 판단 여부를 중요하게 여기는 인식을 갖게 된다(Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Chinn & Malhotra, 2002; 한수진 등, 2012). 정론의 부합 여부에 초점을 두고 반복되는 탐구와 실험의 경험은, 자신의 주장이 과학 지식에 어떠한 도전도 될 수 없다고 판단하게 만들며(Millar, 1998), 과학 지식에 대한 제한적인 인식론적 신념을 갖게 한다(한수진 등, 2012; 조선아와 강훈식, 2013). 이 판단에 의하여 학습자는 이론과 실제 현상 사이의 괴리를 인지하지 못하고 이론에만 의존하여 실험의 오차 분석에 많은 시간을 소모한다(Blanchard *et al.*, 2010). 실제 세계의 현상들은 다양한 요인들이 작용하여 정론과 부합하기 어렵지만(Kuhn & Katz, 2009), 다양한 요인의 작용은 오히려 실

험을 통해 학습할 것으로 기대하는 이론의 습득을 방해하는 것으로 인식한다. 이로 인해 발생하는 논의의 축소는 비판적 사고력, 창의적 사고력을 신장시킬 기회를 잃게 만든다.

따라서 학교 과학이 실제 과학적 과정과 사고를 경험하지 못하게 한다는 비판이 지속되고 있다. 실질적인 문제 해결을 경험할 수 있는 대안으로 논변활동이 강조되고 있으며(Kelly *et al.*, 1998; Erduran *et al.*, 2004; Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008), 논의가 중심이 되는 탐구 활동이 강조되고 있다(박영신, 2006; Duschl & Grandy, 2008). 하지만 학습자는 전문가 집단이 할 수 있는 사고와 기술적인 능력을 갖추고 있지 못하기 때문에(Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004), 이를 지원할 수 있는 교수학습 전략이 필요하다. 학습을 위해 필요한 탐구 활동은 교사와의 적절한 상호작용이 필요하며, 교사가 조력자로서 같이 문제를 해결해 나가는 과정이 필요하다(Hmelo-Silver *et al.*, 2007; 박영신, 2006). 또한 상황에 맞는 교수전략이 제공되어 상황에 따라 개입하거나 조정하는 형태의 활동 형태가 실질적인 학습을 위해 도움을 줄 수 있다(Quintana *et al.*, 2004; Mork, 2005). 이러한 개입은 단순히 프로그램 개발자의 의도대로 학습 과정을 이끌어 나가기 위함이 아니라, 과학의 본성과 지식 구성의 과정을 학습자에게 맡기기 위한 형태로 이루어져야 한다. 즉, 학습자를 방치시켜 지식을 발견하게 두는 것이 아니라 구성할 수 있도록 프로그램의 목적과 방법을 구성해야 하며, 이를 위해서는 학습자의 현재 상태를 고려한 자료와 교육적 지원을 제공해야 할 것이다(Osborne *et al.*, 2004; Jonassen & Cho, 2011). 또한 실험 기구나 재료들을 조작하는 과정에서 나타나는 효과적이지 못한 논의 시간을 줄이기 위해 학습자의 활동은 규정하지만 사고 과정이 활발하게 이루어질 수

있도록 학습 과정을 구성할 필요성이 있다(이수아 등, 2007).

위와 같은 사항들을 고려하여, 본 연구에서는 과학자의 활동을 경험할 수 있는 탐구 활동을 구성하고, 학습자들의 문제 해결과 과학적 사고의 양상을 살펴보았다. 이를 위해 정답이 사전에 결정되어 있지 않은 문제를 해결하는 과학자들의 활동과 유사한 경험을 할 수 있도록 구성된 문제를 제시하였다. 또한 유의미한 문제 해결을 지원하기 위하여 탐구의 교수학습 전략과 지원체계를 구성하였다. 학습자들의 문제 해결 사례를 기반으로 이론과 증거의 조정을 중심으로 문제 해결을 가능하게 하는 탐구 문제에 대해 제안하고자 하며, 과학적 의사소통을 중심으로 문제 해결을 경험할 수 있도록 돕는 교수학습 전략을 수립하는 과정에서 드러난 쟁점 사안에 대해 논의하고자 한다.

2. 연구 목적 및 연구 문제

본 연구는 학습자들의 탐구 현황에 대해 이해하고, 학습의 맥락에서 지식의 구성과 유의미한 문제 해결을 경험할 수 있는 방안을 마련하는 것을 목표로 한다. 각 연구를 통해 문제 해결 사례를 분석하여 이론과 자료가 일치하지 않는 상황의 해결 과정과 전략을 확인하였으며, 논변활동의 역할과 문제 해결과의 연관성에 대해 탐색하였다. 이를 기반으로 문제 해결력 향상을 위한 문제의 유형과 특성에 대해 탐색하고, 이를 뒷받침하기 위한 프로그램 구성에 대해 논의하였다. 위의 맥락에서, 연구 목적을 달성하기 위해 구성한 연구 문제는 아래와 같다.

연구 1. ‘실질적 과학탐구의 문제 해결 과정과 전략의 특징’에서는 과학탐구 과정에서 학습자들이 어떻게 문제를 정의하여 해결하는지 살펴보았다. 특히 이론과 자료가 일치하지 않을 때 나타나는 추론의 특징과 의사소통의 목적을 중심으로 유형을 확인하였고, 특징을 분석하였다. 연구 문제는 다음과 같다.

1. 실질적 과학탐구 과정에서, 학습자들은 문제를 어떻게 해결하는가?
 - 1-1. 학습자들의 문제 해결 과정의 유형과 추론의 특징은 무엇인가?
 - 1-2. 학습자들의 문제 해결 과정 유형에 따른 의사소통의 특징은 무엇인가?

연구 2. ‘과학적 논변활동 촉진을 위한 과제의 개발과 적용’에서는 논변활동을 촉진하기 위한 과제 구성 방안에 대해, 문제와 과제의

구조와 실험 활용의 측면에서 분석하고 확인하였다. 연구 문제는 다음과 같다.

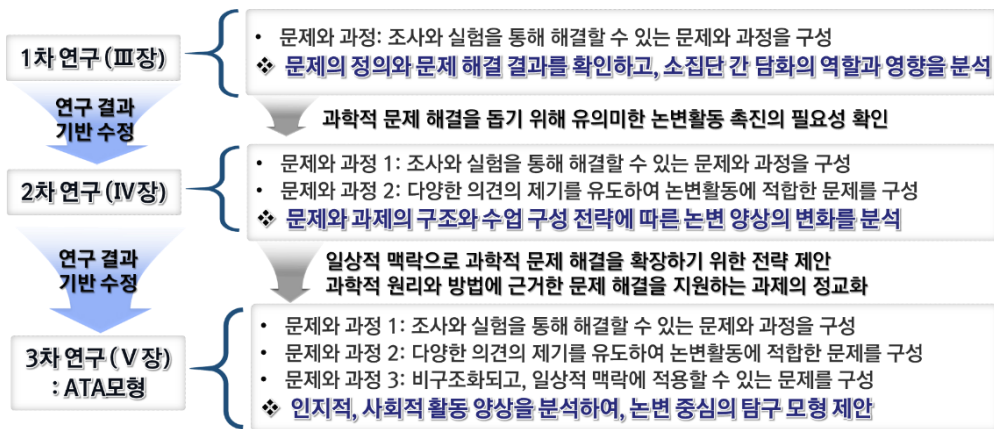
2. 과학적 논변활동 과정에서, 학습자들은 어떻게 문제를 해결하고 논변을 수행하는가?
 - 2-1. 논변활동을 촉진하기 위해 탐구 과제를 개발하는 과정에서 고려해야 하는 요소는 무엇인가?
 - 2-2. 논변활동을 촉진하기 위한 쟁점 사안의 수정에 의해 주장 구성과 의견합의의 특징은 어떻게 변화하는가?

연구 3. '과학탐구와 디자인의 융합 프로그램 중의 문제 해결 과정과 논변활동 탐색'에서는 논변에 기반을 둔 학습 모형을 구성하여 문제 해결 과정을 탐색하였다. 특히 과학 문제 해결과정과 더불어 비구조화된 문제를 해결하는 과정을 세부적으로 분석하고, 과학적 사고와 방법의 역할과 의미를 논의하였다. 연구 문제는 다음과 같다.

3. 과학과 디자인 논변활동 과정에서, 학습자들은 어떻게 과학적으로 사고하여 문제를 해결하는가?
 - 3-1. 학습자들은 어떠한 과정을 거쳐 현상에 대한 심층적인 이해에 도달하는가? 이 때, 논변활동은 어떤 역할을 하는가?
 - 3-2. 학습자들은 어떻게 비구조화된 문제를 해결하는가? 이 때, 과학적 사고와 방법은 어떤 역할을 하는가?

3. 연구의 개요

본 연구의 전체 개요는 <그림 I-1>과 같다. 3회의 연속적인 연구를 통해 과학자의 활동을 경험할 수 있는 탐구 활동을 구성하고, 유의미한 문제 해결을 지원하기 위한 문제의 유형과 교수학습 전략을 정교화하였다. 앞선 두 연구의 결과를 기반으로, 사회적 과정을 통해 이론과 증거를 조정하여 과학을 학습할 수 있는 방안을 모색하였고, 일상적 맥락으로 과학적 문제 해결을 확장할 수 있는 'Authentic Thinking with Argumentation (이하 ATA)모형'을 구성하였다.



<그림 I-1> 연구의 흐름

<그림 I-1>에 제시한 연구의 흐름과 같이, 각 연구에서 확인한 문제 해결 양상을 토대로 탐구 프로그램을 정교화하여 제시하였다. 1차 연구에서는 문제의 정의와 해결 과정을 살펴보고, 소집단 간 상호작용의 역할을 분석하였다. 1차 연구의 결과를 기반으로 과학적 문제 해결을 돕기 위해 논변활동과 연계한 문제 해결이 필요함을 확인하였고, 2차 연구를 통해 논변활동을 촉진하기 위한 방안을 탐색하였다. 2차 연구에서는 문제와 과제의 구조, POE 학습 모형의 각 단계에 따른 논변 양상의 변화를 분석하였다. 2차 연구의 결과를 기반으로, 논변활동을 촉진하기 위한 방안을 도출하였다. 앞선 연구의 결론을 통해 과학적 원리와 방법에 근거하여 논의하기에 적합한 과제와 지원 전략을 구현하였다. 특히 비구조화된 문제를 해결하는 일상적 맥락으로 과학적 문제 해결을 확장하기 위하여, 논변 중심의 탐구 모형인 ATA를 제안하였다. 3차 연구에서 세부적인 개발 원리를 포함하는 ATA 모형을 구성하였고, 적용 사례를 통해 학습자들의 문제 해결 과정과 특징, 프로그램의 효과를 확인하였다.

4. 용어의 정의

이 연구에서 사용한 주요 용어들을 아래와 같이 정의하였다.

① ATA (Authentic Thinking with Argumentation)

본 연구에서 제시한 학습 모형인 ATA 모형은 'Authentic Thinking with Argumentation'의 약자로, 실질적인 사고의 촉진을 목적으로 논변 활동에 기반하여 구성된 교수학습 모형이다. 모형을 이용한 학습을 통해, 이론과 증거에 기반하여 사고하고, 문제를 해결할 수 있도록 구성하였다. 이를 위해, ATA 과정으로 표현할 수 있는 ATA 모형은 과학교육 영역에서 자주 사용하는 학습 모형인 POE 학습모형의 과정과, 디자인 활동의 진행을 위해 구성된 DOE 과정으로 구성된다. 즉, ATA 모형은 과학적 논변활동과 디자인 논변활동이 순환적 POE-DOE 과정으로 진행할 수 있도록 구성하였다.

② DOE (디자인-관찰-평가)

DOE는 ATA 모형의 디자인 논변활동 과정이다. Design(디자인), Observation(관찰), Evaluation(평가)의 단계로 진행되는 DOE 과정은 과학교육에서 사용하는 학습 모형인 POE를 활용한 과정이다. POE의 예측 단계를 디자인 단계로 수정하였으며, 설명 단계는 평가 단계로 수정하였다. 디자인 단계에서는 어떤 디자인이 만족스러우며, 어떤 기능이 필요할지 논의하여 결정하고, 실제로 구현하는 활동을 수행한다. 관찰

단계에서는 구현한 산출물을 다른 참여자들에게 보여주거나, 목적하는 기능을 성공적으로 달성하였는지 확인하기 위한 시범 적용을 수행한다. 마지막으로 평가 단계에서는 제작한 디자인에 대해 다양한 영역의 근거를 통해 반성적으로 사고하고, 더 만족할 수 있는 디자인을 구성하기 위한 방안을 모색한다. 모든 디자인 과정과 과제에 적용할 수 있는 모형이지만, 특히 공학적 디자인을 활용한 학습에 적용하기 적합한 단계이다.

5. 연구의 제한점

본 연구 논문은 문제 해결력 향상을 위한 프로그램 개발 과정에서 드러난 쟁점 사안에 대해 논의하고, 실질적 문제 해결을 달성할 수 있는 방안을 도출하는 것을 목적으로 한다. 연구 목적의 달성을 위해 이전 연구의 결과에서 논의한 쟁점 사안을 기반으로 수정한 프로그램을 적용하였고, 각 프로그램을 적용한 사례 연구를 흐름에 따라 제시하였다. 따라서 연구의 결과를 일반화하기 어려우며, 다음의 제한점을 갖는다.

첫째, 소수의 집단을 대상으로 한 사례 연구이기 때문에, 연구 결과를 토대로 학습자의 현황에 대해 제안하기 어렵다. 본 연구 논문에서는 연구 결과를 토대로 문제 해결력 향상 프로그램의 구성에 대해 논의하였다.

둘째, 성격이 다른 집단이 각 연구에 참여하였기 때문에, 특정 집단의 결과로 일반화하기 어렵다. 본 연구 논문에서는 모든 참여자를 학습자로 규정하고 연구 결과를 서술하였다.

II. 이론적 배경

1. 과학탐구

1.1 실질적 과학탐구

과학교육의 수많은 연구들이 진행되는 가운데, 많은 과학교육 연구자들은 학생들이 과학탐구를 통해 과학을 학습해야 한다는 주장을 펼치고 있다. 과학을 학습하기 위한 교수학습 방법과 전략으로 탐구는 과학적 지식의 이해부터 과학적 실천에 이르기까지 넓은 영역의 의미를 포괄하고 있다(Hofstein & Lunetta, 2004; Abd-El-Khalick *et al.*, 2004; Windschitl, 2003; Duschl & Grandy, 2008). 자연 현상에 대한 이해의 맥락에서 언급하는 탐구란 현상에 대해 의문을 갖고 조사하여 증거를 수집하고 현상을 설명하기 위한 이론을 구성하는 일련의 과정을 말하며, 과학자들의 수행하는 활동을 기반으로 구성된 정의이다(AAAS, 1993; NRC, 1996; Roth, 1995). 실제로 과학자들이 과학 이론을 발전시키는 과정은 탐구의 과정과 결과가 중요한 역할을 차지하며, 과학 지식이 구성되는 과정을 드러낸다(Chinn & Malhotra, 2002). 따라서 과학탐구는 절차적인 기능뿐 아니라, 과학적으로 사고하고 논의하는 영역을 핵심적으로 다루어야 한다.

과학 학습에 대한 관점이 '무엇을 배워야 하는가?'로 대변되는 이론과

개념에 대한 학습에서, '어떻게 알 수 있으며, 왜 타당한가?'로 확장, 변화됨에 따라, 탐구의 역할과 학습에 적용하기 위한 관심이 증가하고 있다(Hofstein & Lunetta, 2004; Schwartz *et al.*, 2004). 즉, 학습자가 수동적인 위치에서 규정된 과정에 의해 현상이나 사실을 관찰하는 것에 맞추어져 있던 탐구에서, 능동적이고 협력적으로 설명을 구성해 나가는 과정으로의 탐구로 변화하고 있다. 이에 과학자들이 일상에서 수행하고 있는 탐구를 의미하는 실질적 과학탐구(authentic scientific inquiry)를 학습에 적용하는 전략이 강조되고 있다(Roth, 1995; Schwartz & Crawford, 2004; Schwartz *et al.*, 2004; 박영신, 2006). 이 전략은 과학탐구를 통해 학습자들이 지식이 구성되는 과정과 방법을 이해할 수 있고, 과학적 방법으로 우리 주변의 문제를 해결할 수 있으며, 과학적 소양을 신장할 수 있다는 관점에 기반한다(Lederman, 1986; Chinn & Malhotra, 2002; Wickman, 2004; Hofstein, 2004). 따라서 탐구를 통한 학습을 강조하기 위하여, 우리나라의 과학과 교육과정은 목표 중 하나로, '자연 현상을 과학적으로 탐구하는 능력'을 제시하고 있다(교육과학기술부, 2011).

실질적 과학탐구를 달성하기 위해서는 과학자들의 활동에 대해 더 자세히 살펴볼 필요가 있다. Reiff 등(2002)이 제시한 바에 의하면, 과학자들의 활동은 6가지의 특성을 갖는다. 첫째, 연구할 가치가 있는 문제를 제기한다. 둘째, 문제 해결을 위해 기존에 알고 있던 지식과 연계한다. 셋째, 문제를 해결하기 위하여 필요한 영역과 관련 지식을 결정한다. 넷째, 순환적인 연구 과정으로 진행한다. 다섯째, 동료 연구자와 협력적으로 활동한다. 여섯째, 과학자들의 문제 해결은 아직 밝혀지지 않은 미지의 문제의 해답을 찾는 과정이다. 위와 같은 특성을 기반으로 Reiff

등(2002)은 '탐구 바퀴'라고 명명한 과학자들의 탐구 과정 모형을 제시하였다. 이 모형은 문제를 해결하기 위한 과정이 비선형적으로 이루어지며, 연속적으로 구성됨을 강조한다. Krajcik 등(1998)의 연구에서 역시 탐구의 과정을 그물망처럼 연결하여 비선형적 형태로 진행할 것을 제시하고 있다. 따라서 실질적인 탐구의 형태는 보편화되어 있지 않으며, 매우 복잡한 과정을 통해 일어난다.

과학자들은 상상에 의한 작업을 수행하기도 하며, 많은 문제 상황에서 직관적인 판단을 내린다(Lederman *et al.*, 2002). 과학자가 수행하는 활동 중에 핵심은 관찰한 현상이나, 증거를 과학적인 이론과 연결하는 추론이다. 추론을 기반으로 하여 가설을 형성하고, 검증하는 과정에서 과학자들은 창의력과 상상력을 이용한다(Lederman *et al.*, 2002). 과학자들은 현상을 추론할 때, 자신의 선경험과 지식을 이용하여 직관적으로 판단하는데, 전문가로써 충분히 숙달되지 않은 사람들은 직관적인 사고를 통해 적절한 추론을 하기 어렵다(Hmelo-Silver *et al.*, 2002). 따라서 탐구를 수행한 학습은 적절한 사고 과정을 경험하게 하는 활동이 수반되었을 때 의미가 있으며, 이를 지원하기 위한 적절한 체계가 필요하다(Chinn & Malhotra, 2002; Kirschner *et al.*, 2006).

과학자들의 탐구의 중요한 특징 중 하나는 협동, 논의, 설득과 같은 사회적인 활동이 수반된다는 것이다. 과학자들은 자신의 발견이나 해석을 정당화하여 정론으로 인정받기 위해 지속적으로 공동체 내에 있는 다른 과학자들에게 설명하며, 협업을 통해 공동으로 지식을 구성한다(Reiff *et al.*, 2002; Lederman *et al.*, 2002; Roth & Lawless, 2002). 따라서 과학자들은 특정 집단에 참여하여 다른 구성원들과 관계를 맺고 상호작용을 하며 협력적으로 활동한다(Lederman *et al.*, 2002). 과학자들

은 집단에 참여하여 상호작용하는 것은 단순히 과학 지식 구성만을 공동으로 하는 것이 아니라, 그 이전에 집단만이 가지고 있는 문화적인 특성인 신념, 언어 등을 공유하게 되며, 하나의 독특한 문화적인 집단을 구성하게 된다(Roth & Lawless, 2002). 이에 실질적인 과학 탐구를 수행하여 과학을 학습하도록 하는 것은 과학 지식을 학습 공동체 내에서 다른 참여자와 문제를 공유하여 같이 해결하며, 의견을 주고 받는 과정에서 많은 토의와 토론을 거쳐 발전적으로 지식을 구성하는 과정을 포함해 과학 문화 집단에 동화되는 것을 목표로 삼는다(Chinn & Malhotra, 2002; Duschl & Grandy, 2008; Hodson, 2009).

과학탐구는 학교 과학에서 주로 실험과 실습으로 제시되고 있으며, 제한된 인지적, 사회적 활동만을 요구한다. 실험과 실습은 과학탐구의 하나의 방법일 수 있으나, 대부분의 실험 활동이 절차적인 과정에 집중하고, 과학 지식의 구성 과정을 단편적으로만 나타나도록 만든다(Park, 2010). 실질적인 과학 활동은 현상에 대해 추론하는 사고과정과 동료간의 과학 활동을 포함하는 '과학 하기'인데 반해, 다양한 제한 사항 때문에 많은 부분이 축소되거나 누락된다. 따라서 인지적이고 사회적인 활동이 가능한 실질적 과학탐구에 참여하여 과학의 다양한 영역을 학습하도록 하는 것이 요구되고 있다(Chinn & Malhotra, 2002; Sandoval & Reiser, 2004; Abrams *et al.*, 2007).

실질적 과학탐구를 학습의 맥락으로 옮기기 위한 노력은 '열린 탐구' 혹은 '개방적 탐구'로 명명된 탐구 활동을 통해 구현되었다(Schwab, 1962; Schwartz & Crawford, 2004; Hart *et al.*, 2000; Zion *et al.*, 2004; Blanchard *et al.*, 2010). 열린 탐구는 문제의 정의, 해결 방법의 고안,

자료 해석과 논의와 같은 탐구 과정의 전반이 모두 학습자 주도로 이루어지도록 구성되었다. 한편, 참여자들이 익숙하지 않고 복잡한 과정을 통해 과학을 수행하는 것이 쉽지 않기 때문에, 과학자 혹은 전문가와 공동으로 작업할 수 있는 일종의 도제제도 형태의 학습 프로그램도 제안되었다(Moss *et al.*, 1998; Means, 1998; Hunter *et al.*, 2007). 과학을 실제로 하는 맥락에 학습자들을 참여시키고자 하는 이러한 노력은 과학 개념의 이해, 과학의 본성에 대한 이해, 과학적 태도의 함양 등에 효과적임을 보고하지만(Hart *et al.*, 2000; Metz, 2004; Berry *et al.*, 2001), 반대로 많은 비판이 제기되고 있다. 과학을 모방하고 단순하게 경험하는 것은 과학에 대한 이해를 보장하지 못하며(Millar, 1998; Schwartz *et al.*, 2004; Sadler *et al.*, 2010), 관찰과 실험이 세계에 대하여 정확한 이해를 도울 수 있고, 학습자들이 이론과 자료를 스스로 연결하고 중요한 개념을 발견하기를 기대하여 학습을 보장하지 못한다는 것이다(Millar, 1998; Kirschner *et al.*, 2006; Klahr & Nigam, 2004; Hug & McNeill, 2008).

학습자들이 탐구를 통해 과학적으로 추론할 수 있도록 돕기 위해서는 자료를 다루고 결론에 도달하는 과정에서 이론과 증거를 지속적으로 평가하고 비판적으로 사고하는 것을 촉진해야 한다. 따라서 문제 해결력 증진을 위해서는 구체적인 맥락의 문제를 해결하는 과정에서 과학적 사고를 촉진하는 학습이 가능하도록 제공해야 한다. 특히 단순히 책임이 부여된 활동이 아니라 과학적 지식이 형성되고 수정되는 사고 과정에 학습자들이 집중할 수 있도록 조직화된 프로그램이 필요하다.

1.2 과학탐구와 과학적 모형

과학적 모형은 과학 철학, 과학교육의 다양한 영역에 해당하는 연구자들이 과학자들이 현상을 설명하기 위해 사용하는 추상적인 표현으로 인식하고 있지만(Suárez, 2009), 아직까지 구체적으로 합의된 정의는 없다. 다만 구체적인 맥락에서 발현된 현상에 대한 설명 체계이자, 도구이며, 예측을 위하여 사용하는 추상적인 생각의 표현 방식이라는 관점에 기반하여 설명하고 연구에 이용하고 있다(Giere, 1997; Suppe, 1998; Harrison & Treagust, 2000; Chinn & Samarapungavan, 2008; Schwartz *et al.*, 2009). 과학적 모형은 이전부터 수학적식이나 산출물의 형태로 구현되어 사용되어 왔으며, 과학적 이론을 이용하여 현상을 직접적으로 설명하기에 너무 복잡하거나 추상적인 경우에 도구로 사용되기도 한다(Hodson, 2009). 실제로 과학자들의 활동을 역사적인 관점에서 살펴보면, 구체적인 현상을 추상적인 개념이나 원리로 적용하여 설명하기 위하여 모형을 사용하거나(Nersessian, 2008), 다른 전문가들에게 설명하고 설득하기 위한 수사학적 논변의 도구로 사용되기도 한다(Sutton, 1992). 과학적 모형은 현상에 대한 예측을 위하여 사용하기도 한다. 즉, 구성된 모형을 기반으로 새로 접하는 현상을 예측하고 새로운 설명을 추론하는 역할을 수행해 과학 지식을 발전시키는 핵심적인 역할을 맡기도 한다(Schwartz *et al.*, 2009). 추상화된 모형의 핵심적 요소를 다시 구체적인 산물로 조직하여, 알고자 하는 현상의 작용을 확인하고, 예측을 검증하는 과학자들의 활동에서 모형의 사용을 살펴볼 수 있다(Nersessian, 2008), 즉, 근거를 들어 설명하기 위한 방법이자, 인지적인 활동의 필수적인 요소로써, 추론 능력 신장을 위해 핵심적인 개념으로 평가 받고 있다. 그리고 과학 교육의 맥락에서는 학습자가 현상에 대해 이해하고 있

는 방법을 모형을 통해 확인할 수 있도록 도움으로써, 학습자의 이해를 평가할 수 있는 방안으로도 활용되고 있다(Schwartz *et al.*, 2009).

모형은 이론과 실세계를 연결하는 통로의 역할을 수행하여 인지적 활동을 수행하도록 돕는다(Duschl & Grandy, 2008). 모형을 이용하여 앞으로 일어날 현상에 대하여 예측할 수 있으며, 예측과 자료가 일치하지 않는 경우, 모형을 토대로 반성할 수 있다. Giere(1997)가 제시한 추론 모형을 토대로 이러한 사고 과정은 더 구체적으로 살펴볼 수 있는데, 모형은 실제 세계에서 나타나는 현상을 기존 지식 체계를 이용하여 추측하여 만들어진다. 또한 추측을 토대로 만들어진 설명인 모형을 이용하여 추론하고 계산함으로써 실험적 상황에 대한 예측에 도달하게 된다(이선경 등, 2012). 예측과 과학적 증거들을 비교하여, 둘 사이의 일치 여부를 판단하고, 일치하지 않는 경우 이론과 증거 양쪽을 평가하여 옳은 설명에 도달한다(Kuhn *et al.*, 1988).

과학적 모형을 이용하여 이론과 증거를 비교하고 평가하기 위해서는 자료를 획득하는 과정이 필수적이다. 즉, 문제를 해결하기 위한 활동으로, 구체적 맥락에서 탐색한 현상에 대해 자신의 설명 방식을 통해 해결하고 정당성을 입증해 볼 수 있는 기회가 필요하며, 과학 탐구를 통해 그 기회를 얻을 수 있다. 또한 과학적 모형은 어떤 자료를 획득할 것인지 결정할 뿐 아니라, 선택의 이유에 대해서도 뒷받침할 수 있도록 도울 수 있다. 이어 획득한 자료를 선택적으로 증거로 변환하고, 설명을 구성하는 일련의 과정을 통해 자료 획득에서부터 시작하여 과학에 대한 인식론적인 기반을 성립할 수 있도록 도울 수 있다(Duschl, 2003; Schwartz *et al.*, 2009). 이러한 맥락에서, 실질적으로 과학을 탐구하는 방법으로 모형을 구성하고, 증거와 비교하여 평가하며, 반성하는 과학적인 사고

과정이 중심이 되는 모형 기반의 탐구와 모형 구성 활동에 대한 주장이 힘을 얻고 있다(Schwartz *et al.*, 2009; Kuhn, 1993; Gilbert *et al.*, 1998; Nersessian, 2008).

국내에서도 모형과 모형 구성에 대한 관심이 높아짐에 따라 과학적 모형과 개념 변화에 대한 관계의 연구들이나 학습자 간 상호작용에 의한 협력적 모형 구성 과정과 모형의 유형에 대한 연구들이 이루어지고 있다(강은희 등, 2012; 이신영 등, 2012; 이지영과 김희백, 2011; 박지연과 이경호, 2008; 장은경 등, 2012). 하지만 실험 활동을 기반으로 하여 이론과 증거를 조정하는 활동에 대한 연구는 제한적으로만 진행되고 있으며(이선경 등, 2012; 이선경 등, 2013), 다양한 맥락에서 모형 구성의 양상을 살필 필요가 있다. 본 연구에서는 현상을 설명하기 위한 체계로써 모형을 이해하고, 참여자들이 가지고 있는 정신 모형에 따른 탐구와 문제 해결에 대해 간접적으로 확인하고자 하였다.

1.3 비구조화된 문제

비구조화된 문제는 해결해야 하는 구체적인 목표와 방법이 제시되지 않는 유형의 문제이다(Jonassen, 1997). 구조화의 수준이 낮은 문제로 표현되기도 하는 비구조화된 문제는 주로 문제의 상황의 제시되어 있고, 문제를 접했을 때 해결을 위해 필요한 개념이나 해결 과정이 상황에 따라 매우 차이가 있는 상황 의존성이 강한 문제이다(Voss, 1987). 상황의 해석에 따라 다양한 해결 방법이 존재하며, 상황을 파악하여 결정된 문제의 정의에 따라 방법이 결정되어야 한다. 반대되는 개념인 구조화된 문제는 대부분 예상하는 답이 결정되어 있으며, 해결 방법과 관련 개념

이 규정되어 있어 영역 의존성이 강한 문제이다(Jonassen, 1997). 따라서 과학자들이 해결하는 대부분의 문제는 특정한 답과 해결 방법이 정해져 있지 않다는 측면에서 비구조화된 문제의 유형으로 포함할 수 있다.

한편 학습의 맥락에서 살펴보면, 비구조화된 문제는 대부분 인지 갈등에 의해 유발된 문제이다(Jonassen, 1997). 즉, 현상에 대한 예측과 실제 관찰된 현상의 차이가 존재하는 상황은 비구조화된 문제를 유도한다. 갈등 상황을 해결하기 위해 학습자는 자신의 의견과 뒷받침 할 수 있는 근거를 제시해야 한다. 문제가 발생하는 상황이란 대부분 사전에 비슷한 경우가 없으며, 해당 현상이 발생한 맥락에 강하게 의존하기 때문에, 학습자에게 높은 수준의 추론을 통해 상황을 해결하기 위한 의견 제시를 요구하게 된다. 따라서 비구조화된 문제는 실질적인 사고를 이끌어 위한 유형의 문제로 유의미한 탐구 수행을 위해 핵심적인 역할을 맡는다.

비구조화된 문제를 해결하기 위해서는 상황을 읽고 해석하여 예측과 현상 간의 불일치 상황을 해소할 수 있는 문제발견이 필요하다(Runco, 1994; 이혜주, 2005). 문제발견이란 좁혀야 하는 갈등을 드러내기 위해, 문제를 형성하고, 창조하기 위한 행동, 태도, 사고 과정을 의미한다(Runco, 1994; 이혜주, 2005). 단순히 문제를 해결하는 것보다 스스로 구성한 문제를 해결하는 것이 더 큰 성취를 끌어낸다는 점에서, 문제발견이 강조되고 있다. 또한 스스로 구성한 문제를 해결하는 것은 과학자의 과정을 경험하고 지식을 구성하기 위한 핵심으로 평가할 수 있다(박승재와 윤혜경, 2000; 정주혜와 김효남, 2013). 특히, 탐구를 시작하는 단계뿐 아니라, 진행하는 과정에서도 증거와의 비교를 통해 새로운 문제를 발견하는 것은 탐구의 질적 향상에 영향을 준다(Hung *et al.*, 2011).

국내의 연구사례를 살펴보면, 탐색, 직관적 사고, 기존 지식과 경험의 표현, 적절성 논의, 잠정적 문제 결정 등의 과정이 순환적으로 일어나 문제발견을 달성하고 있음을 보고하고 있다(류시경과 박종석, 2009; 정주혜와 김효남, 2013). 앞선 연구들에 의하면, 증거에 기반하여 사고하고 평가할 수 있는 능력이 필요하며, 문제발견의 촉진을 위해서는 심도 있는 토의 과정이 필요함을 보고하고 있다(LaBanca, 2008; 정주혜와 김효남, 2013).

본 연구에서는 구체적인 상황을 제시하고, 문제를 정의하거나 해결 방법을 도출하는 탐구를 수행하도록 지시하였다. 즉, 구조화 수준이 낮은 문제를 해결하는 탐구를 수행하는 과정에서 문제를 발견하고, 과학적 모형을 토대로 이론과 증거를 비교하여 해결하는 과정을 연구하였다. 해결 방법과 관련된 개념 영역이 결정되지 않은 문제를 해결함으로써 과학자와 같은 실질적 탐구를 수행하는 것으로 보았으며, 이 과정에서 학습자들이 협력적으로 문제를 해결하기 위해 사회적으로 활동하는 양상을 조사하였다.

2. 논변활동

2. 1. 논변의 정의와 역할

과학자 집단에서는 지식을 구성하고 평가하는 인지적인 활동뿐 아니라, 동료 집단에게 공유하고 검증을 통한 정당화 과정과 같은 사회적 활동을 중요하게 여긴다 (Kuhn, 1993; Nersessian, 1995; Driver *et al.*,

2000; Watson *et al.*, 2004). 과학자들의 중요하게 생각하는 인지적 활동과 사회적 활동에 대한 논의에서 핵심으로 평가되고 있는 것이 논변이며, 문제 해결 과정에서 핵심적인 역할을 수행한다(Jonassen & Kim, 2010). 논변을 구성하는 활동인 논변활동은 다른 입장에 있는 사람을 설득하거나 반박하기 위하여 진술하는 사회적이고 지적이며, 언어적인 활동이자(van Eemeren *et al.*, 1987, p. 7), 제시된 현안이나 논쟁에 대한 합리적인 해결책을 제시하는 활동(Siegel, 1995, p. 162)의 의미를 갖는다. 논변의 유형에 따라 크게 세 가지로 분류할 수 있다(van Eemeren *et al.*, 1987). 분석적 논변은 주장을 구성하는 내용 요소와 구조를 핵심으로 고려하여 주장의 논리성을 평가하는 것에 초점을 두며, 수사학적 논변은 집단 내외에 있는 청중들을 설득하고, 주장을 전달하기 위한 목적의 담화나 글쓰기를 의미하며, 과학 지식이 구성되어 가는 과정을 드러낸다(Jonassen & Kim, 2010). 마지막 유형인 변증법적 논변은 다양한 의견이 제기된 현안에 대해 벌어지는 의견 간 대립을 해결하기 위한 의견 제시와 반증, 설득을 핵심으로 제기한다(Driver *et al.*, 2000). 특히 Driver 등(2000)은 수사학적 관점과 변증법적 관점에 대해 과학 교육에서 초점을 두고 장려할 것을 주장하고 있다.

설명과 설득, 의견 대립의 해소를 위한 논변활동은 인지적이고 사회적인 활동을 개별적으로 분리하지 않고, 통합적인 관점에서 접근해야 한다. 문제 해결 중의 논변활동은 분절된 단계에 의해 진행되는 것이 아니라, 주장을 구성하고, 제안하며, 평가하여 합의에 이르는 과정이 연속적이고, 복잡하게 진행되는 과정에서 일어난다(Driver *et al.*, 2000; Osborne *et al.*, 2004; Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008). Nersessian(1995)의 연구에 의하면, 실제 과학자들은 홀로 지식을 구

성해 나갈 수 없는 상황에 놓여있으며, 공동으로 지식을 구성하며 사회로부터 많은 영향을 받고 있다. 따라서 과학적 활동을 행하는 어떤 상황에서나 다른 연구자를 설득하고 협의하는 것이 필수적이며, 서로 다른 입장에 있는 상대방을 설득하기 위해서는 자신의 논변 구조, 추론을 더욱 정교하게 조직해야 한다. 이 과정에서 비판적으로 평가하고, 추론을 되짚어 반성적으로 사고하는 등의 수준 높은 사고력이 요구된다(Kuhn, 1993). 학습자들이 논변활동에 참여해야 하고, 논변을 이해해야 한다는 주장은 과학이 하나의 일상이며 문화가 된 현재 사회에서 과학적인 추론 능력을 신장하고, 의사소통 능력을 키우며, 과학을 이해할 수 있어야 한다는 맥락에서 강조된다(Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008; Sampson & Clark, 2008).

논변활동은 과학이 아닌 다른 영역에서도 중요하게 다루어진다. 특히 다양한 의견이 제기되어 합의가 필요한 문제나 현안이 존재하는 영역에서는 논변활동이 중요한 역할을 차지한다. 예를 들어 공학, 경제학, 윤리적 문제 등의 다양한 영역에서 논변활동은 협력적으로 문제를 해결하기 위한 중요한 역할을 수행한다(Cohen *et al.*, 2000; Jin & Lu, 2004; Jonassen & Cho, 2011; Erduran & Mugaloglu, 2013). 합리적이고 창의적인 문제 해결과 더불어 원활한 소통 능력이 주요한 역량으로 강조됨에 따라 A Framework for K-12 Science Education (NRC, 2012)에는 '증거를 기반으로 논변에 참여한다.'는 목표를 기술하고 있으며, 우리나라의 과학과 교육과정(교육과학기술부, 2011)에도 '개별 활동뿐만 아니라 모둠 활동을 통해 비판성, 개방성, 정직성, 객관성, 협동성 등 과학적 태도와 의사소통 능력을 기르도록 한다.'는 목표를 설정하여 논변의 학

습을 강조하고 있다. 따라서 과학 교과에서도 교과의 특성을 살린 논변 활동을 제안하여, 학습자들에게 주장의 구성과 사회적 합의과정의 경험을 제공할 필요가 있다.

2-2. 논변활동과 과학탐구

사회적 구성주의의 관점에서 바라본 학습은 한 사람만의 실행으로 지식 습득을 완결하기 어렵고, 참여에 의해 달성될 수 있음을 제안한다. 따라서 과학을 학습하는 것도 독립적인 활동에 의한 것이 아닌 공동체, 집단 내에서 이루어지도록 관점이 변화하였다(Driver *et al.*, 1994). 과학자들의 활동이 개인의 산물이 아니라 과학자 집단에서 일어난다는 관점(Driver *et al.*, 2000; Watson *et al.*, 2004)은 실질적인 과학탐구를 이용한 학습 역시 공동체 내에서 상호작용에 의해 이루어지도록 이끌 것을 주문한다(Sandoval & Reiser, 2004). 어린 학습자들을 대상으로 한 인지과학이나 과학교육에서의 연구들을 살펴보면, 어린 학습자들은 주장을 구성하거나, 자기 자신이 타당하다고 여기는 근거에 기반하여 평가하는 등의 인지적인 활동은 충분히 수행할 수 있음이 알려져 있다(Samarapungavan, 1992; Karmiloff-Smith, 1988). 하지만 과학자들과 어린 학습자들은 다른 동료들과 논의하고 협력적으로 지식을 구성할 기회가 제시되는가의 여부에서 차이를 드러낸다(Brewer, 2008). 즉, 어린 학습자들은 자신의 생각을 남들과 공유하고 논박할 수 있는 기회가 제한적이며, 공적인 영역에서 타당성을 검증 받기 위해 어떻게 접근하고, 과학의 문화적 측면에서 무엇을 고려해야 하는지 알 수 없다(Brewer, 2008). 따라서 학습자들을 과학의 실제 영역에서 논의할 수 있는 기회

를 제공하는 것의 필요성에 많은 공감대가 형성되고, 실질적 과학탐구를 달성하기 위한 논변이 중요하게 여겨지고 있다(Driver *et al.*, 2000; Sandoval & Reiser, 2004; 김희경과 송진웅, 2004; 박영신, 2006).

학습을 위한 탐구의 맥락에서도 과학 탐구의 각 과정은 대부분 공동체나 소집단 내에서 이루어진다. 특히 탐구를 통한 과학의 학습은 위해서는 과학적 원리와 개념을 자신의 경험과 연계하고 논리적으로 사고하여 정교화 하며, 다른 의견을 비판적으로 평가함으로써 달성할 수 있다. 위와 같이 문제를 해결하기 위한 탐구 과정에서 논변활동은 인지적이고 인식적 활동이 일어나는 모든 과정에서 일어날 수 있다(Kuhn, 1993). 탐구를 진행하는 각 과정에서 학습자들이 갖는 문제 인식이나, 해석, 설정하고자 하는 가설, 문제 확인을 위한 설계 전략들은 모두 각자의 선지식이나 경험, 관점 등에 의해 영향을 받아 다양하게 나타날 수 있다. 현상에 대한 다양한 의견이 존재하는 가운데, 소집단의 탐구활동은 개별 학습자가 가지고 있는 다양한 관점을 하나로 통합하여 문제를 정의하여 가설을 설정하고, 해결 방법을 고안하며, 증거를 기반으로 초기의 예상과 추론을 평가하여 결론에 도달함으로써 이루어진다(Driver *et al.*, 2000; Sandoval & Reiser, 2004). 다양한 관점에서 하나의 관점을 선택하거나, 통합하기 위해서는 다른 관점을 고려하고 설득하는 논변이 이루어지며, 학습자들은 자신의 모형을 뒷받침하거나 수정할 수 있는 기회를 얻게 된다(Berland & Reiser, 2009).

단순히 담화를 통해서만 논변활동이 일어나는 것은 아니다. 논변은 상대방을 설득하기 위한 글쓰기에서도 일어날 수 있다. 예를 들면 학습자들이 실험을 마치고 작성하는 보고서도 논변활동의 일종으로 분류할 수 있다(Kelly & Takao, 2002). 실험 활동과 관련된 글쓰기는 실험을

통해 획득한 증거를 기반으로 추론한 과정과 현상에 대한 주장을 설명하기 위하여 작성하는 수사학적인 논변활동으로 분류할 수 있다. 특히 글쓰기 형태의 논변활동은 자신의 생각에 대해 반성적으로 사고할 수 있는 메타인지적 활동을 지원한다(김희경과 송진웅, 2004).

탐구를 통해 실질적인 논변활동에 참여하는 경험은 반성적인 사고를 촉진시켜 과학에 대한 인식론적인 이해를 도울 수 있고(Schwartz *et al.*, 2004; Sandoval & Millwood, 2005), 협력적 지식 구성을 가능하게 하며, 의사소통 능력과 같은 사회적 역량, 추론 능력과 비판적 사고력과 같은 인지적인 역량 향상할 수 있도록 돕는다(Erduran *et al.*, 2004; Sandoval & Millwood, 2005; Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008). 더불어 과학적 활동의 경험은 과학을 읽고 쓰는 과학적 소양을 신장시켜 과학 문화에 한 걸음 더 동화될 수 있도록 지원한다(Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008; Sandoval & Reiser, 2004).

우리나라에서도 과학적 논변활동에 대한 많은 연구들이 진행되고 있으며, 논변활동을 가능하게 하는 프로그램 구성 원리의 제시와 필요성에 대한 논의부터(김희경과 송진웅, 2004; 박영신, 2006), 다양한 영역에 대한 연구들이 제시되고 있다. 이 중 많은 숫자는 학습자들의 논변 능력이나 논변의 구조적이고 사회적인 양상에 대한 연구들이 이루어지고 있으며(강은희 등, 2012; 이신영 등, 2012; 이지영과 김희백, 2011; 신호심과 김현주, 2012; 윤선미와 김희백, 2011; 한혜진 등, 2012) 논변활동이 과학 수업에서 교수학습 전략으로 활용될 수 있음을 시사한다. 또한 논변에 대한 주요 연구 방향 중 하나인 교사의 인식과 활용에 대한 연구가 이루어지고 있으며(Park, 2008; 이효녕 등, 2009), 논변의 분석과 이

해를 위한 개념적 도구를 제안하고, 적용 사례를 제시함으로써, 추후의 연구를 지원하기 위한 노력들도 지속되고 있다(양일호 등, 2009; 신호삼과 김현주, 2012; 박지영과 김희백, 2012; 맹승호 등, 2013).

본 연구에서는 과학 탐구의 문제 해결 상황에서 학습자들의 담화 양상을 확인하는 연구를 수행하고, 담화의 방향과 목표에 대해 논의하고자 한다. 또한 논변을 강조하는 프로그램을 구성하여, 논변을 촉진하기 위한 원리와 실천적 방법에 대해 제안하고자 한다. 마지막으로 논변활동을 통해 학습자들이 과학적 맥락의 문제뿐만 아니라 일상적인 상황으로 확장된 맥락에서 문제 해결을 성공적으로 달성하고, 유의미한 학습을 달성했는지 확인하려 한다. 이를 통해 특정한 맥락의 문제에 대한 협력적인 추론과 문제 해결이 과학 학습에 어떠한 도움을 줄 수 있는지 조사하고자 한다.

3. 문제 해결과 디자인 활동

3-1. 문제 해결 과정의 융합적 성격

우리나라의 교육과정에서 기술하는 과학 교과의 목표는 최종적으로 '과학적 사고력과 창의적 문제 해결력을 길러 일상생활의 문제를 해결할 줄 아는 과학적 소양을 기른다.'에 초점을 두고 있다 (교육과학기술부, 2011, p. 3). 21세기의 우리 주변의 일상은 다양한 요소들이 서로 영향을 주고 받으며, 복합적인 원인에 의해 문제들이 야기된다. 따라서 단순

히 한 영역의 관점만으로 우리 주변의 문제를 해결할 수는 없으며, 다양한 영역을 모두 종합하여 해결할 수 있는 인재를 양성하거나, 원활한 의사소통 능력을 갖추어 전문가 간의 협력을 이끌어낼 수 있는 인재를 양성해야 한다(백운수 등, 2011). 따라서 실질적으로 문제를 해결하는 것은 사회가 복잡해짐에 따라 융합적인 관점에서 생각해야 한다.

전문가들은 실제로 문제를 해결하기 위해 융합적인 사고를 하고 있으며, 다양한 영역의 전문가들과 협업을 통해 융합을 달성하고 있다. 오현석 등(2012)의 연구에 의하면, 융합 학문을 구성한 학자들은 문제 해결을 위하여 학문 간의 경계를 넘나든다고 보고하고 있다. 이들의 연구에 의하면, 문제를 해결하고자 하는 강한 동기부여가 '문제 중심적 사고'를 하게 하고, 다양한 영역의 학문을 종합하는 행동양식의 특징을 갖게 만드는 원동력이라고 한다. 한편, 한 영역의 전문가로는 해결되지 않는 문제에 대해서 전문가들은 이른바 '교역지대(trading zone)'에서 의견을 주고 받음으로써 융합적인 활동을 수행하고 문제를 해결한다(Gorman, 2004; Collins *et al.*, 2007; 오현석 등, 2012). 예를 들어, 유전자 조작 식물(Gorman, 2004), 지구 온난화 문제(Allenby, 2001)와 같은 우리 주변의 핵심적인 문제에 대하여, 특정한 하나의 집단이 아니라 환경 과학자, 인지과학자, 기술자, 윤리학자 등의 다양한 영역의 전문가가 협력하여 문제를 해결해야 함을 강조하였다.

일상생활의 문제를 해결할 수 있는 능력은 구체적이고 일상적인 맥락의 문제를 해결함으로써 신장할 수 있다(Brown *et al.*, 1989). 특정한 영역에 의존하여 현상을 해결하는 것을 지양하고, 문제와 상황에 집중하여 지식과 경험, 기술을 연결하고 적용하는 학습이 필요하다(Kolodner

et al., 2012; 김수희와 정광순, 2011). 이러한 선상에서, 문제 중심 학습 (Barrows, 1996; Collins *et al.*, 1989; Davis & Linn, 2000), 프로젝트 기반 학습(Krajcik *et al.*, 1998; Alozie *et al.*, 2010; Cho & Brown, 2013), 설계 기반 학습(Kolodner *et al.*, 2003; Apedoe *et al.*, 2008; Schnittka & Bell, 2011)등의 교수학습 전략들이 개발되고 학습의 효과를 보고하고 있다. 우리나라의 교육 정책도 융합적 소양을 갖춘 인재의 양성을 골자로 STEAM 교육을 강조하는 방향으로 추진하고 있다(교육과학기술부, 2010). 특히 국내의 STEAM 교육은 융합적 지식을 통해 총체적인 관점에서 문제에 접근하고 해결하며, 창의적인 태도와 역량을 강화하는 것에 초점을 맞추고 있다(백윤수 등, 2011; 김성원 등, 2012). 다만 우리나라의 융합교육은 주로 공학적인 측면에서 강조되어 왔으며(권혁수와 박경숙, 2009), 예술 영역은 감성적인 측면을 부각하기 위한 도구로 이용하는 한계를 드러낸다(손정우와 허민영, 2013). 따라서 예술 영역을 비롯한 다양한 영역간의 총체적인 융합을 기반으로 하는 학습에 관련된 논의가 필요하며, 문제 중심적인 사고를 위해 각 영역을 어떠한 방법으로 융합할 것인가에 대한 논의도 지속되어야 한다.

3-2. 디자인 사고와 공학적 설계

디자인은 “의상, 공업 제품, 건축 따위 실용적인 목적을 가진 조형 작품의 설계나 도안” 이라고 정의한다(국립국어연구원, 1999). 디자인의 정의는 인간 중심적인 사고를 기반으로, 공학적인 관점, 기술적인 관점을 포함하고 있다(Brown, 2008; 윤혜진, 2013). 특히 공학 디자인의 영역에서는 제품을 디자인할 때, 고객과 시장의 요구가 무엇인지를 조사하

여 요구를 충족할 수 있는 제품을 만들어내는 것이 핵심이다(Jin & Geslin, 2010). 고객들의 요구는 기능적인 측면 이외에도 편리성, 안전성, 미적 측면, 가격 경쟁력 등의 넓은 범주에 걸쳐 있으며, 요구를 실현하기 위한 제품의 특징과 장점도 다양하게 제시될 수 있다. 특히 시장의 요구는 항상 변화하기 마련이며, 그에 따른 해결 방법이나 평가 기준도 상황에 따라 변화한다(Buchanan, 1992). 따라서 디자이너들에게는 우리 주변에 대해 다양한 각도에서 사고하여 새로운 문제를 제기하고 해결할 수 있도록 종합적이고 직관적인 사고, 즉, '디자인적 사고(design thinking)'가 요구된다(Brown, 2008). 이에 시작된 디자인적 사고에 대한 요구는, 학제간 융합 활동의 영역부터 과학 교육의 영역에까지 도입하고자 하는 시도가 이루어지고 있다(박문형, 2014; 이도현 등, 2014).

디자인의 영역이 학제간 융합을 통해 과학과 접목하려는 시도는 디자인 문제가 일상생활의 맥락을 드러낼 수 있기 때문이다(박문형, 2014). 즉, 과학과 디자인 문제의 성격은 차이점이 있다. 과학의 경우에는 현상을 설명하기 위해 최종적으로 이론과 증거를 이용하여 평가하여 증명하는 것을 목표로 한다. 따라서 설명을 통해 도달해야 하는 지점이 있다. 하지만 디자인의 경우에는 이해 관계자, 즉 사람들의 만족을 목표로 하며, 평가의 준거가 사람의 가치와 기준에 있다(Buchanan, 1992). 따라서 과학의 영역과 같이 변칙사례가 없이 평가의 기준이 변할 수 있으며, 언제든지 더 나은 산출물을 요구할 수 있다. 이러한 특성은 디자인 문제의 비구조화적 성격을 드러낸다(윤혜진, 2013).

디자인과 과학을 학습의 맥락에서 융합하려는 시도는 활동 과정의 유사한 특성을 기반으로 이루어진다. 즉, 디자인 활동의 과정은 과학탐구

의 과정과 유사한 측면이 많다(Kolodner *et al.*, 2003; Apedoe & Schunn, 2013). 특히 공학적 측면의 디자인의 과정에서는 달성하고자 하는 목표인 고객의 요구를 수집하여 분석하고, 실현 전략을 계획해야 한다. 제한된 자원을 이용하여 요구를 반영한 시제품(Prototype)을 시범 적용하여 결과를 확인하고, 초기의 의도와 부합하는지 평가하여 최종적인 산출물을 만들어내는 것이 디자인의 과정이다(Kolodner *et al.*, 2003; Christiaans & Almendra, 2010). 앞선 디자인의 모든 과정은 사람의 요구를 실현할 수 있는가에 대해 지속적으로 증거를 획득하고, 평가해야 한다. 또한 증거를 기반으로 어떠한 방향으로 디자인을 구성할지 의견을 결정해야 하는 등(Tang *et al.*, 2010), 과학탐구에서 나타나는 인지적인 활동과 유사한 활동이 이루어진다.

사회의 구성 요소가 다양해지고, 전문 영역이 세분화됨에 따라, 디자인에서도 협동과 협력은 필수적이다. 다양한 기능과 경쟁력의 확보를 위해 다양한 전문성을 지닌 주체들이 디자인 작업에 참여하며, 각자의 영역에서 의견을 개진해 더 좋은 제품을 만들기 위한 논의와 공동의 의사결정이 일어난다(Suh, 2006; Jin & Geslin, 2010). 다양한 전문가 집단이 모여 의사결정을 할 때는 협상(negotiation)이 중요한 역할을 한다. 가용 자원은 제한되어 있으며, 각 영역별로 기술적인 현황이 다르기 때문에 의견 간 대립이 일어나며, 상대방의 의견과 자신의 의견을 조율하여 갈등을 해결해야 한다. 따라서 협력적 디자인의 과정에서 주장을 제기하고, 반박하며, 효과적으로 논의할 수 있는 사회적 기술과 주장을 논리적으로 구성할 수 있는 능력이 필요하다(Jin & Geslin, 2010). 따라서 공학과 기술, 디자인의 영역에서도 논변에 근거한 교육이 점차 강조되고 있다(Shum & Hammond, 1994; Jonassen & Kim, 2010).

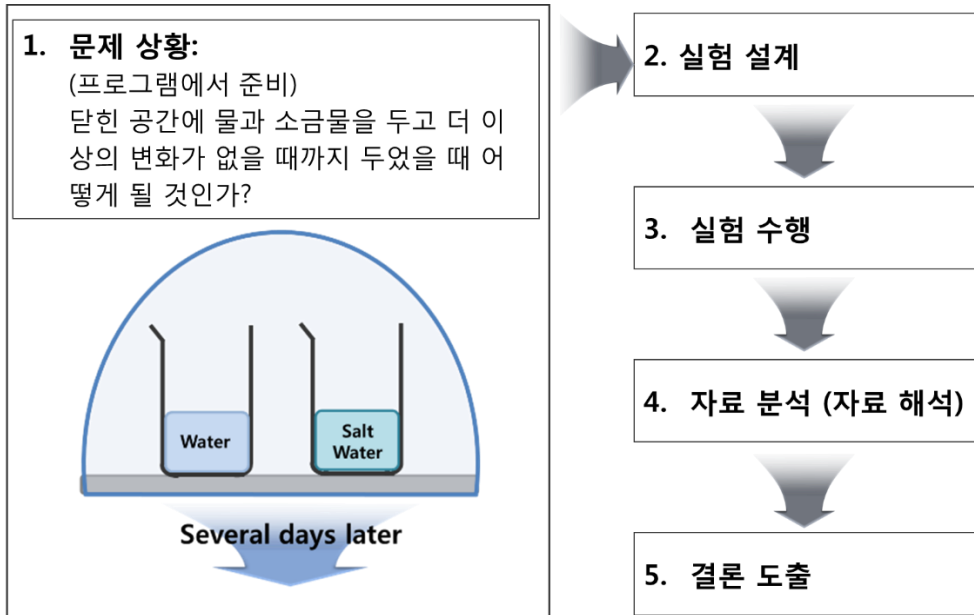
본 연구에서는 일상생활의 문제를 해결하는 과정과 과학 학습의 맥락을 논변활동을 중심으로 융합한 모형을 제안하고자 한다. 과학과 공학, 디자인의 영역은 문제의 성격과 목표의 차이가 있으나, 활동이 진행되는 과정의 측면에서 증거와 선지식 사이의 추론, 논리적인 의견의 개진, 평가와 반성의 공통점을 가지고 있다고 보았다. 또한 협력적인 활동이 핵심적인 역할을 수행하기 때문에 논변의 영역에서 융합하고자 하였다. 따라서 구체적인 맥락의 문제를 해결하는 과정을 의사결정과 결합함으로써, 실질적인 사고를 가능하게 하고, 협력적으로 문제를 해결할 수 있는 모형을 제시하고자 하며, 연구 결과를 통해 문제 해결력 향상을 위한 학습에 대해 논의하고자 한다.

Ⅲ. 실질적 과학탐구의 문제 해결 과정과 전략의 특징

1. 연구 방법 및 절차

1.1 프로그램 맥락

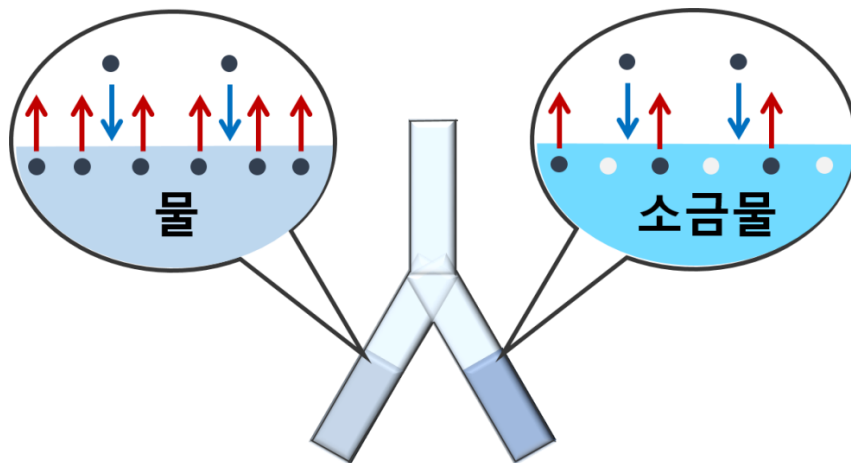
본 연구에서는 문제 해결을 기반에 둔 탐구 프로그램을 구성하여 적용하였다. 학습자들이 정형화된 답이나 결론을 구성하는 것보다, 다양한 결론을 이끌어내는 것을 목표로 구성하였다. 다양한 결론을 도출하기 위해, 과학자가 수행하는 탐구의 특성을 구현할 수 있도록 구성하였다. 또한 경험적 자료를 기반으로 과학적 이론과 비교하여 평가하고 조정할 수 있도록 실험과 조사가 가능한 문제를 제시하였다. 참여자들은 제시된 상황을 과학적으로 설명하기 위하여 문제를 정의하고, 관련 영역을 결정하여 실험 과정을 수립했다. 그리고 실험적으로 얻은 자료와 증거를 통해 결론을 이끌어내는 과정을 수행했다. <그림 Ⅲ-1>은 제시된 문제와 이를 해결하기 위해 진행하는 탐구 과정을 도식화 한 것이다. 아래와 같은 과정으로 참여자들은 제시된 상황에 대해 6주간 탐구를 수행하였다. 한편 본 연구의 실험을 수행하기 이전에 참여자들은 5개의 상황에 대하여 문제를 해결하였다. 문제 해결의 경험을 통해 문제를 정의하고 실험을 직접 설계하는 과정이 익숙하도록 전체 학습 과정을 구성하였다.



<그림 III-1> 문제 해결을 위한 탐구 과정

본 연구에서 분석한 탐구 실험의 문제 상황은 '닫힌 공간에 물과 소금물을 두고 더 이상의 변화가 없을 때까지 두었을 때 어떻게 될 것인가?'로, '물과 소금물의 증발'이라는 이름으로 참여자들에게 제시하였다. 이 상황은 다양한 과학적 원리들 중, 가장 주된 요인으로 증기압 내림의 원리를 적용할 수 있다. 증기압 내림을 적용해 이상적인 상황임을 가정하면, 순수한 물이 모두 소금물 쪽으로 이동할 것으로 예상할 수 있다. 용액의 증기압은 물의 증기압보다 낮은 것이 증기압 내림으로, 증발 속도의 차이가 원인으로 작용한다. <그림 III-2>처럼 같은 공간에 물과 소금물이 존재한다면, 소금물의 경우 용질 입자의 혼합으로 인해 표면의 용매 입자 수가 감소하여 증발속도가 순수한 용매인 물보다 작다. 하지

만 동일한 조건 아래에 물과 소금물이 존재하기 때문에, 응축 속도는 양쪽 액체에 동일하게 적용되며, 이로 인해 증발과 응축의 평형이 깨져 한쪽으로 용매가 모두 이동한다(윤희숙과 정대홍, 2006). <그림 III-2>에서 보인 형태로 실험을 수행할 수 있지만, 실제로 실험을 통해 검증하기에는 실험적 오류, 변인의 통제, 이론이 배경으로 하는 이상적인 조건들이 예측과 다른 결과를 얻게 만든다. 따라서 이론적으로 예측한 결과를 얻기 어려우며, 예측과 결과의 불일치 상황이 발생하게 된다. 불일치를 해소하기 위해서는 이론에 근거한 자료를 얻기 위하여, 사전에 인지하지 못했던 문제점을 발견하여 탐구 문제를 정의하거나 실험의 설계를 변경할 수 있다. 또는 반대로 획득한 결과의 설명을 위해 새로운 문제를 정의하고, 추가적인 자료를 보강하여 현상을 설명할 수 있다.



<그림 III-2> 물과 소금물의 증발과 응축

1.2 연구 참여자

본 연구는 사범대학 화학교육과에 재학 중인 대학생 21명이 참여하였다. 21인의 대학생 총 10모둠을 구성하였고, 한 모둠을 제외하고 모두 2인이 1모둠을 구성하였다. 모든 연구 참여자는 실험 강의에서 다루는 학습 소재에 대한 배경 지식과 관련된 이론 강좌를 이수한 이후에 참여하였고, 이전에 총 4개의 화학 실험 강의를 이수하였다. 한편, 본 연구에서 사용한 프로그램의 문제 상황을 이전 학기에 참여자들에게 제시하였고, 예상되는 결과와 근거를 물었으나, 모든 참여자들이 거의 유사한 예측과 이유를 제시해, 참여자 간 인지적인 수준의 차이는 없는 것으로 판단하였다. 또한 과학에 대한 개인적 배경을 알아보기 위해, 과학에 대한 태도(Fraser, 1978), 학습 전략과 성취 동기(Vandewalle, 1997)에 대한 면담을 수행하였으나, 면담 참여자들 사이의 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다.

1.3 자료 수집 및 분석

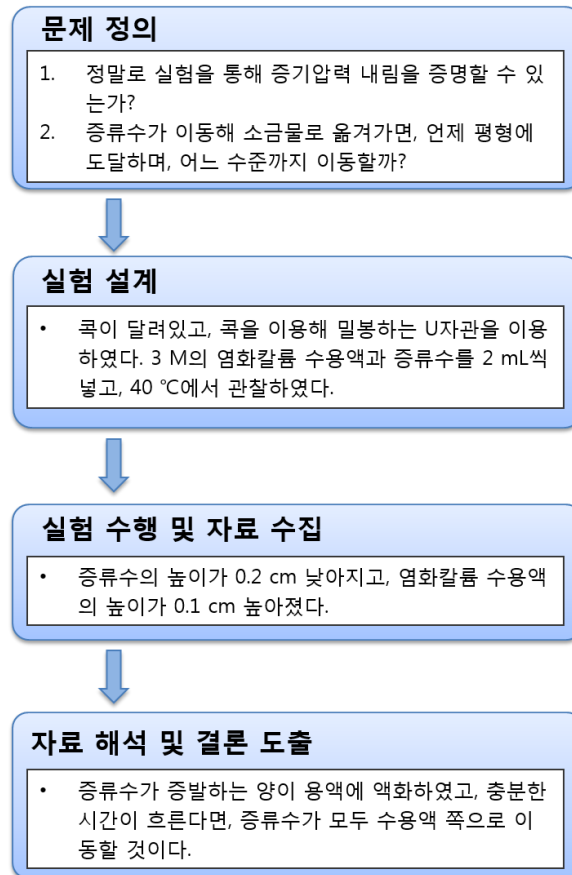
본 연구에서는 탐구를 수행하며 학습자들이 문제 정의를 내리는 과정과 특징, 이론의 증거의 조정에서 드러나는 과학적 의사소통에 초점을 두고 분석을 수행하였다. 탐구 과정 분석을 위해 참여자들의 보고서를 중심으로 자료를 수집하였다. 참여자들이 작성하는 보고서는 크게 두 가지 종류로, 탐구 실험 이전에 제출하는 소집단 계획서와, 탐구 실험을 마치고 제출하는 개별 보고서이다. 소집단 계획서에는 사전에 결정한 문제와 목표, 해결을 위한 실험 설계, 예상 결과를 작성하도록 지도하였다. 탐구 실험 이후에 제출하는 개별 보고서는 소집단 계획서에 작성한 내용

을 포함하여 실험의 결과와 자료 해석, 결론을 포함하도록 하였다. 이어 6주간의 탐구 과정이 모두 종료된 이후에는 참여자들이 수행한 탐구의 목표와 과정, 간단한 결과, 알아보고자 했던 가장 주요 사항들을 간략한 보고서로 제출하였다.

각 보고서는 박현주 등(2012)이 제시한 과학적 탐구 표준을 본 프로그램에 적합하도록 수정하여 분석하였다. 탐구과정은 문제 정의, 실험 설계, 실험 수행, 자료 변환 및 해석, 결론 도출의 항목으로 분류하였다. 소집단 계획서의 내용은 문제 정의, 실험 설계의 요소로 분류하고, 결과 예상의 항목으로 작성한 내용을 토대로 참여자들의 문제 정의의 목표를 검토하였다. 개별 보고서의 내용에서 실험 설계와 실험 수행, 자료 변환 및 해석과 결론의 내용을 확인해 분석을 완료하였다. 분석은 연구자와 과학교육 전문가 1인의 교차 검토를 통해 이루어졌고, 과학교육 전문가 1인의 검토를 통해 연구 결과를 확정하였다. 분석한 탐구 과정을 순서대로 작성하였으며, 참여자들이 작성한 보고서에 항목이 없는 경우에는 선택적으로 순서도에서 해당 항목을 배제하였다. <그림 III-3>은 분석한 탐구 과정의 예시로, 이 예시 사례의 경우 자료의 해석과 결론 도출이 명확하게 구분되지 않아 통합하여 분석하였다.

탐구 과정에 대한 분석을 기반으로 문제 해결의 전략을 구분하였다. 전략의 구분은 탐구 과정에서 수행한 각 실험의 결론과 새롭게 정의한 실험의 목표에 기반을 두었다. 참여자들이 제시한 실험의 목표와 핵심적 발견은 그 당시 고려하고 있는 설명 모형을 드러내는 것으로 판단하였다. 이를 기반으로 설명 모형과 실험과의 연관성을 검토하였다. 즉, 설명 모형의 변화 여부와 실험과의 연관성이 전략 구분의 핵심이었다. 전략을 확인함으로써, 참여자들이 탐구 실험을 통해 무엇을 확인하고자 하는지

살피며, 어떤 문제 인식을 하고 있는지 구분하였다.



<그림 III-3> 탐구 과정 분석 사례

참여자들의 문제 해결과 탐구 과정의 요소들을 확인하기 위한 보고서 자료를 검토한 이 후, 문제 정의에 대한 심층적인 이해를 얻기 위한 면담을 진행해 자료를 다각화하고자 하였다. 연구자와 1인의 과학교육 전문가가 면담 문항을 구성하였고, 같이 면담에 참여하였다. 면담 참여자는 문제 해결 과정과 결과가 다른 범주로 파악되는 집단을 모두 포함하여, 총 10개 모듈 중 5개 모듈을 대상으로 면담을 진행하였다. 심층 면담에서는 보고서에 쉽게 드러나지 않았던 문제 정의에 대한 심도 깊은 이해를 위해 문제 정의의 이유와 전략을 묻는 문항을 구성하여 사용하였다. 면담 내용은 모두 녹음하여 전사한 후, 분석하였다.

참여자들이 구성한 문제의 정의에서 발견할 수 있는 이론과 증거 사이의 조정 과정을 정교하게 확인하였다. 이 과정에서 참여자들이 보이는 과학적 의사소통과 조정 과정의 상호연관성을 발견하였다. 참여자들은 과학실 수업의 맥락에서 교수자 혹은 같은 모듈의 동료, 다른 모듈과 지속적으로 논의에 참여한다. 이 중, 특히 교수자나 다른 모듈과의 논의를 본 연구의 과학적 의사소통의 중심으로 초점을 두고 관련성을 확인하였다. 그리고 탐구 과정에서 수행하는 인식적 실행의 분석은 보고서에 드러난 결과를 이용하였고, 과학적 의사소통의 영향은 보고서에 기록된 사항과 심층 면담 자료를 통해 확인하였다.

참여자들이 보이는 인식적 실행을 평가하기 위해 Duschl(2003)이 제시한 증거-설명 연속선을 사용하여 참여자들의 인식적 실행을 확인하였다. 증거-설명 연속선은 학습자들이 과학의 실행 중에 나타내는 인식적 변환을 파악할 수 있는 방법으로, 자료를 증거로 변형하고, 증거를 패턴이나 모형으로 분석하며, 패턴이나 모형을 과학적 설명으로 개발하는 과정을 분석할 수 있도록 돕는다. 본 연구에서 사용한 '물과 소금물

의 증발' 탐구에서 자료는 실험을 통해 얻는 가시적인 결과나 구체적인 수치에 해당한다. 이 자료들을 표로 제시하거나 그래프로 그리는 과정, 유목화하는 과정을 통해 증거로 변환하며, 이론과 지속적으로 비교하여 자료를 해석한다. 변환하여 구성한 증거는 학습자 개인이나 소집단이 가지고 있는 이론을 이용한 해석과 설명에 의해 모형으로 발전하거나, 비슷한 실험 결과들의 공통점을 발견하여 패턴으로 분석된다. 위와 같은 인식적인 실험의 흐름을 연결하여 결론 도출에 이르는 과정으로 분석하였고, 참여자들이 어느 과정에서 새로운 문제 정의로 탐구의 흐름을 이어나가는지 추적하였다. 그리고 심층 면담의 결과를 토대로, 의사소통의 결과가 어떤 흐름에서 핵심적 역할을 수행하였는지 확인하였다.

2. 연구 결과 및 논의

2.1 집단 내 문제 해결 과정의 전략과 특징

'닫힌 공간에 물과 소금물을 두고 더 이상의 변화가 없을 때까지 두었을 때 어떻게 될 것인가?'라는 문제 상황에 대해 화학교육과의 대학생들은 탐구를 수행하고, 모둠별로 결론에 도달하였다. 참여자들은 실험을 설계하기 위하여 주로 증기압 내림과 화학 포텐셜 개념을 이용하였고, 대다수의 경우 초기 예측과 다른 실험 결과를 획득하였다. 초기에 모든 집단은 충분한 시간이 지난 이후에는 모든 물이 소금물로 이동할 것이라고 예측하였다. 닫힌 공간의 전체 크기에 따라 액체의 총 양은 변화가

있을 것이라고 예측한 경우도 있으나, 가시적으로 확인할 수 있는 전체 물이 이동할 것이라는 예측은 동일하였다. 즉, 참여자들의 문제 해결 과정과 해결 전략을 분석한 결과에 의하면, 대부분의 모둠은 모든 물이 소금물로 이동하는 것을 관찰하기 위한 실험 조건의 결정에 초점을 두었다.

초기 예측과 다른 실험 결과를 획득한 이유에 대하여 참여자들은 <표 III-1>에 제시한 결론과 문제 정의에 도달하였다. 단힌 계 구성을 위한 밀봉 도구의 변경을 6모둠이 주요 결론으로 제시하였으며, 실험 도구의 수정으로 분류할 수 있었다. 또한 변인의 수정에 대해 소금물의 농도, 물과 소금물의 양, 실험 수행 온도를 주요 결론으로 포함한 모둠도 각각 6모둠, 4모둠, 7모둠으로 다수에 해당하였다. 일부의 경우 모둠 B의 사례와 같이 예측이 잘못되었다는 중간 결론을 내리기도 하였다. 이에 참여자들은 새롭게 문제를 정의하거나, 이전에 정의한 문제를 검증하기 위한 새로운 실험을 설계했으며, 최소 3회에서 최대 7회까지 실험을 설계하고 수행하였다. 실험을 반복하여 수행하는 과정에서, 모든 모둠은 실험 장치의 오류나 변인 통제 전략을 변경하는 최적화된 실험 설계를 위한 문제를 정의하였다.

<표 III-1> '물과 소금물의 증발' 실험에 대한 결론과 문제 정의에 따른 분류

모둠	결론과 문제 정의	분류	설명 모형과의 관련성
A	밀봉 도구의 종류	실험 도구 수정	실험 조건의 최적화
	전체 계의 크기	변인 수정	
	소금물의 농도		
	물과 소금물의 양		

물과 소금물의 표면적			
B	실험 수행 온도	변인 수정	실험 조건의 최적화
	물과 소금물의 증발 속도	이론 검증	설명 모형의 변경과 검증
	가시적인 용매 이동의 한계 농도	설명 모형 변경	
C	밀봉 도구의 종류	실험 도구 수정	실험 조건의 최적화
	소금물의 농도	변인 수정	
D	실험 수행 온도	변인 수정	실험 조건의 최적화
	소금물의 농도		
	물과 소금물의 양		
E	실험 수행 온도	변인 수정	실험 조건의 최적화
	소금물의 농도		
F	밀봉 도구의 종류	실험 도구 수정	실험 조건의 최적화
	소금물의 농도	변인 수정	
G	물과 소금물의 양	변인 수정	실험 조건의 최적화
	실험 수행 온도		
	소금물의 농도		
H	밀봉 도구의 종류	실험 도구 수정	실험 조건의 최적화
	실험 수행 온도	변인 수정	
I	밀봉 도구의 종류	실험 도구 수정	실험 조건의 최적화
	실험 수행 온도	변인 수정	
J	밀봉 도구의 종류	실험 도구 수정	실험 조건의 최적화
	물과 소금물의 양	변인 수정	
	실험 수행 온도		

실험 최적화 과정 중에, 1개의 모듈은 기존의 설명 모형과 다른 결과를 예측하는 설명 모형을 구성하였다. 일정 수준 이하로 용액의 농도가 작아진다면, 더 이상의 용매의 이동은 관찰할 수 없을 것이라는 설명 모형에 기반한 실험을 수행하였다. 이와 같이 단일 이론에만 근거하여 설명 모형을 구성하는 것이 아니라, 다른 원리나 증거들을 활용하였다는 측면에서 문제를 확장하여 정의한 것으로 평가할 수 있다.

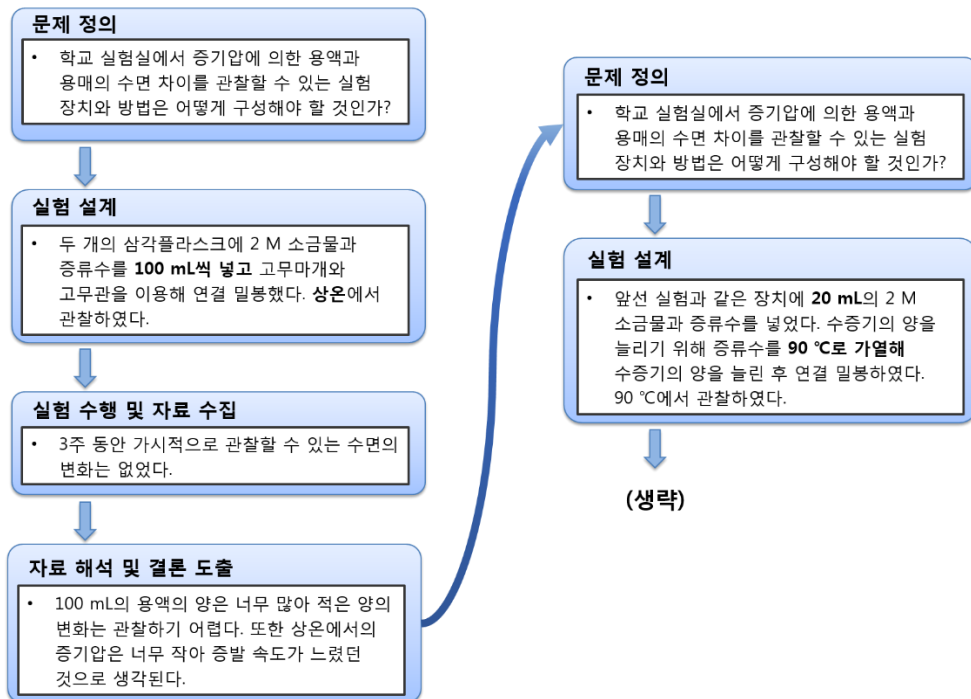
2.1.1 실험 최적화 전략

물과 소금물의 증발 실험에서 자주 확인할 수 있던 탐구의 양상은 실험을 수행하는 조건과 도구를 변경하는 것이었다. 참여자들은 모두 증기압 내림에 근거하여 모든 물이 증발하고 소금물의 양이 늘어날 것으로 초기에 예측하였다. 하지만 예측과 일치하지 않은 실험 결과가 나타나게 되고, 이에 참여자들은 대부분 실험의 조건에 해당하는 변인들을 변경하는 것을 확인할 수 있었다. 변경하는 변인은 통제 변인과 조작 변인 모두에 해당했으며, 실험을 새롭게 설계하는 경우, 변인과 같은 조건을 하나로 결정하고 실험을 진행하기도 하였으나, 다양한 변인의 조건에서 실험을 수행하는 경우도 다수 발견되었다.

2.1.1.1 통제 변인의 조정

탐구를 진행하는 과정에서 자주 확인할 수 있던 특징은 통제 변인의 종류를 발견하거나, 구체적인 수치를 조정하는 변경이었다. 참여자들이 탐구에서 주로 고려한 통제 변인은 온도, 액체의 부피로 빠른 시간 내에

가시적인 결과를 확인하기 위해 통제 변인을 조정하였다. 아래의 <그림 III-4>의 실험 사례는 통제 변인 중, 액체의 부피와 온도를 모두 변화시킨 모뎀 G의 사례를 순서도로 구성한 것이다. 이 모뎀은 초기에 모든 용매가 용액으로 이동할 것이라는 예측을 검증하기 위해 상온에서 삼각 플라스크에 2 M 농도의 용액과 물을 각각 100 mL씩 넣은 실험을 설계했다. 이어진 실험에서 해당 소집단은 3주 동안 관찰한 결과 어떠한 변화도 확인하지 못했다. 이를 통해 사용한 액체의 총 양과 온도 조건은 자료 획득을 위해 적합하지 않다는 판단을 내렸다. 따라서 이 모뎀은 초기에 구성한 실험 설계로는 문제를 해결하지 못했다고 판단하였고, 새로운 실험 설계로 나아갔다. 이에 동일한 예측에 기반하여 동일한 탐구 문제를 정의하고, 소요 시간을 줄이기 위해 용액의 총 부피, 온도 조건을 첫 번째 실험과 비교하여 변경하는 것이 이들의 전략이었다. 즉, 첫 번째 실험을 통해 용액의 양, 온도와 증발 속도의 관련성을 파악하고, 현상에 대해 예측하고 기대하는 결과를 확인하고자 더 빠른 속도로 실험 결과를 획득할 수 있는 조건을 상정하는 것을 확인할 수 있었다. 새롭게 설계한 실험을 통해서 해당 모뎀은 용액과 용매의 증발 속도에 차이가 있음을 확인할 수 있는 자료를 획득했다.

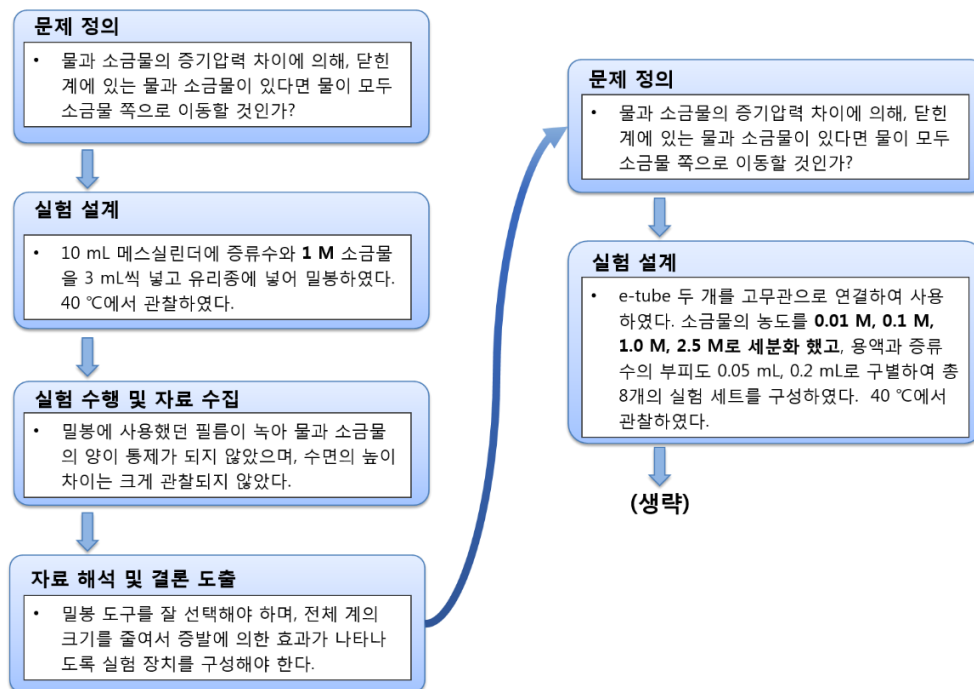


<그림 III-4> 모둠 G의 통제 변인 변경의 예시

2.1.1.2 조작 변인의 조정

앞선 통제 변인의 사례와 마찬가지로, 실험 결과의 획득을 위해 조절할 수 있는 요소인 조작 변인 역시 기대하는 실험 결과의 획득을 위해 이루어졌다. 변인의 조건을 다양하게 변경하여, 적극적으로 수정 효과를 제시한 모둠 A를 살펴보면, 용액의 농도를 자주 변경하였다. <그림 III-5>의 사례에서는 소금물의 농도를 2.5 M에서 0.01 M까지 세분화하여 사용하도록 새롭게 실험을 설계하였다. 이러한 설계를 통해 확인할 수 있는 결과는 소금물이 이동할 수 있는 한계 농도이다. 하지만 1 M 농도의 용액을 사용하는 실험 조건에서 유의미한 관찰을 하지 못했다고 결론

을 내렸으며, 닫힌 공간을 구성하기 위한 밀봉 도구와 전체 계의 크기에 대한 결론만을 이끌어냈다. 따라서 이전 실험의 결과가 새로운 설계에 영향을 준 것이 아니라, 다른 요인이 작용하여 새로운 설계를 이끌었음을 알 수 있다.

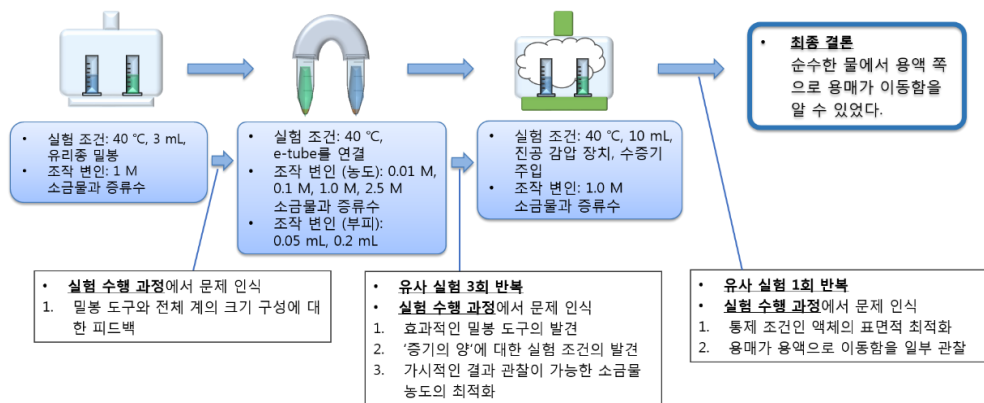


<그림 III-5> 모듈 A의 조작 변인 변경의 예시

실험 설계 시 조작 변인의 설정은 현상에 대한 예측과 실험을 통해 확인하고자 하는 자료의 핵심을 드러낸다. 따라서 조작 변인을 조정하는 작업은 사전에 획득한 자료와 이론 사이의 타당한 추론을 통해 이루어질 때, 더욱 유의미하다. 위의 <그림 III-5>에서 확인할 수 있는 조작 변인의 조정은 이전의 실험 결과를 분석하여 도출한 새로운 예측이 어떤 추론에 기반하는지 확인할 수 없다. 대신 최적의 실험 결과 획득을 위한 다양한 조건에서의 실험 수행으로 볼 수 있으며, 기대하는 예측을 검증할 수 있는 자료 획득이 가능한 최적화된 실험 설계로 볼 수 있다. 이는 모둠 A의 구성원이 작성한 최종보고서에 확인할 수 있으며, 이를 위해 <그림 III-6>의 흐름으로 총 6회에 걸쳐 실험 설계를 변경하여 7회의 실험을 수행하였다.

... (생략) 그렇기 때문에 이 실험은 별 탈 없이 진행될 것이라고 생각하기 쉽다. 그러나 실제로 그림에서 제시된 방식대로 실험을 진행해보면, 그렇지 않음을 알 수 있다. 우리 조에서는 그림과 비슷한 방식으로 진행한 실험 1을 통해 이러한 실험의 한계점을 분석해보고, 여러 가지 다른 방법들을 동원하여 실험 2~7을 진행했으며, 문제의 실험을 수행하는 데 있어서 어떠한 방법과 요인들이 효율적인지 생각해보았다.

(모둠 A 구성원의 최종 보고서 '서론' 중에서)



<그림 III-6> 모듈 A의 실험 설계 흐름에 따른 탐구 수행 과정과 결론

모듈 A는 다양한 요인의 변경을 통해 실험을 최적화하려는 흐름을 보였다. 첫 번째 실험을 통해 밀봉 도구와 닫힌 공간의 크기에 대해 문제 인식을 갖고, 이론에 의해 정당화될 수 있는 결과를 얻기 위하여 조작 변인을 수정하거나 조건을 추가하였다. 이에 두 번째 실험에서 소금물의 농도와 액체의 부피를 다양하게 설정하고, 결과를 통해 가장 효율적인 것으로 판단할 수 있는 실험 조건을 선정하였다. 다양한 시도를 통해 모듈 A는 용매의 이동을 가시적으로 확인할 수 있는 농도 조건을 1.0 M로 결정하였다. 또한 액체의 부피는 10 mL로 최종 결정해 실험을 설계하여 용매가 이동할 것으로 초기에 예상한 결과를 확인함으로써 탐구를 종료하였다. 이외에도 다양한 요인들을 수정하면서 용매의 이동을 확인하고자 하였는데, 기타 요인에 대해서는 다음의 논의를 통해 확인하고자 한다.

2.1.1.3 실험 도구 및 기타 요인의 조정

실험 최적화를 위해 참여자들은 변인 이외에도 실험 도구 및 장비, 등의 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 모두 포함하여 수정하였다. 앞선 모둠 A의 사례에서 확인하였듯이, 성공적이라고 판단할 수 있는 실험 결과를 얻기 위하여 닫힌 계의 크기를 결정하는 용기를 변경하거나, 실험의 소요 시간을 결정할 수 있는 수증기의 양을 조절하는 실험 설계의 변화를 확인할 수 있다. 닫힌 계의 크기를 결정하기 위해 매우 작은 크기의 도구인 e-tube를 사용하였으나, 높은 압력을 버티지 못하고 터지자 이어진 유사 실험에서 바이알, 코니칼 튜브, 아크릴 살레와 같은 다양한 초자나 도구를 검토하였다. 최종적으로 모둠 A는 다양한 도구 중에서 압력 변화를 버틸 수 있도록 설계된 기체 감압 장치를 사용하였다. 다양한 방법을 사용해 보고, 최종적으로 모둠 A가 제안한 실험 도구는 아래의 발췌문에 드러나듯이, 전체 닫힌 공간은 유리로 구성하며, 액체를 담은 용기는 플라스틱으로 구성하는 것이다. 유리는 상대적으로 표면이 뜨거워 기체가 그 위에서 액화하기 어렵고, 플라스틱은 상대적으로 표면의 온도가 낮아 액화가 잘 일어날 것이라는 판단 하에 결론에 도달했고, 모둠 A는 이를 중요한 발견으로 제시하였다.

계는 유리로 이루어진 것이 좋다. 이 때 플라스틱 재질로 이루어진 계에 물방울이 맺히는 것은, 유리의 경우 유리 표면이 뜨겁기 때문에 그 부근에서 역시 증발이 일어날 수밖에 없지만 플라스틱의 경우 열전도도가 낮아 전체 계 중에서 상대적으로 온도가 낮은 부분에 속하기 때문이다. 따라서 이번 실험에서는 응축된 물을 다시 받아들이기 위해 용액을 직접 담은 용기는 플라스틱 재질로 이루어진 것이 좋으며,

반대로 전체 계를 둘러싸는 경계는 유리로 된 것이 좋다는 결론을 얻을 수 있었다.

(모둠 A 구성원의 최종 보고서 ‘결론’ 중에서)

자주 확인할 수 있었던 참여자들의 탐구 특성은 최적화된 실험 결과를 얻기 위한 반복 실험이었다. 실험을 최적화하는 것은 참여자들이 이미 알고 있는 과학 개념이나, 이론이 가정하는 이상적인 상황의 예측을 경험적 자료로 획득하고자 함을 의미한다. 따라서 이러한 관점에서는 문제 중심적인 사고가 아니라, 영역 중심적인 사고가 두드러진다. 그리고 참여자들은 용액의 증기압 내림에 부합한 결과를 획득하여 입증하는 것을 주요 과제로 여기고 탐구에 참여한다. 앞선 모둠 A의 사례에서 위와 같은 관점이 반영된 탐구를 대표적으로 관찰할 수 있었다.

다만, 최적화 전략에 의한 탐구의 경험은 절차적 지식과 기능의 측면에서 의미가 있다. 과학 탐구는 과학의 실천에 해당하는 절차적 기능과 능력의 신장을 피해야 함을 강조하고 있으며(NRC, 2000; 박영신, 2006), 모둠 A의 사례는 실험을 통해 획득하고자 하는 자료를 수집할 수 있는 절차적 능력의 신장을 대표적으로 보여준다. 예상하는 자료 획득을 위해 증발이 빠르게 일어날 수 있는 높은 온도의 조건을 택하거나, 닫힌 공간의 크기를 축소하는 전략은 이를 뒷받침한다. 또한 닫힌 공간에 수증기를 사전에 넣음으로써, 수증기가 포화된 상태에 빠르게 도달하는 전략도 과학적 개념을 검증하기 위한 효과적인 접근으로 평가할 수 있다. 이러한 전략은 과학자들의 탐구와 비교했을 때, 변인을 선정하고, 문제의 검증을 위한 특화된 과정을 구성하였다는 측면에서 유사하다

(Chinn & Malhotra, 2002).

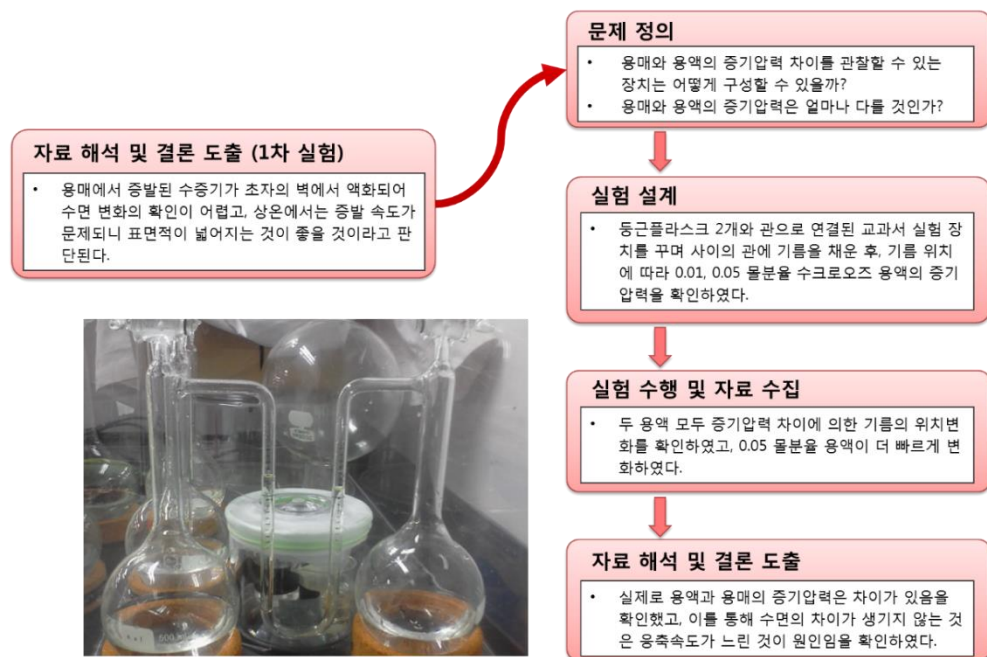
2.1.2 확장된 문제 형성 전략

총 10개의 모듈 중, 1개의 모듈 (모듈 B)은 앞선 실험 최적화 전략 이외에 현상에 대한 예측을 변경하여, 새로운 문제를 정의하고 해결하는 양상을 보였다. 이 모듈은 자료를 해석하는 과정에서 예측이 기반하고 있는 이론을 검증하기 위한 새로운 문제를 발견하여 정의했다. 또한 실제 일어나는 현상과 실험 결과를 종합하여 새로운 예측을 만들고 문제를 정의하는 두 가지 사례를 보였다. 이러한 과정은 문제발견의 관점에서, 문제 상황에 대한 의문을 제기하고, 잠정적 문제를 제안하여, 생성한 문제를 탐색하는 과정을 통해 해결한 사례로 평가할 수 있다. 두 가지 실험을 통해 이 모듈은 다른 모듈과 다른 결론에 도달하였고, 실험적 증거와 예측의 일치를 통해 타당성을 입증하였다.

2.1.2.1 이론의 검증

모듈 B가 수행한 이론의 검증을 위한 탐구는 증기압 내림이 문제 상황에 실제로 작용하는지 검증하는 것이었다. 모듈 B의 참여자들은 1차 실험을 통해, 용매의 이동을 확인하기 위해서는 많은 시간이 필요하고, 그 이유는 증기압을 결정하는 물의 증발과 응축 속도에 기인함을 결론으로 도출하였다. 이에 2차 실험은 실제 용액의 농도에 따른 증기압의 차이를 확인하기 위한 새로운 문제로 정의하였다. 증기압의 확인을 위해 이론적인 경향과 일치할 것이라고 예상하는 이상 용액, 그렇지 않은 조

건의 용액과 순수한 용매 간의 증기압 차이를 확인하기 위한 실험을 설계하였다. <그림 III-7>은 이와 같은 문제 정의에 의한 실험 설계와 결과에 대한 순서도, 그리고 문제 해결을 위해 구성한 실험 장치이다.

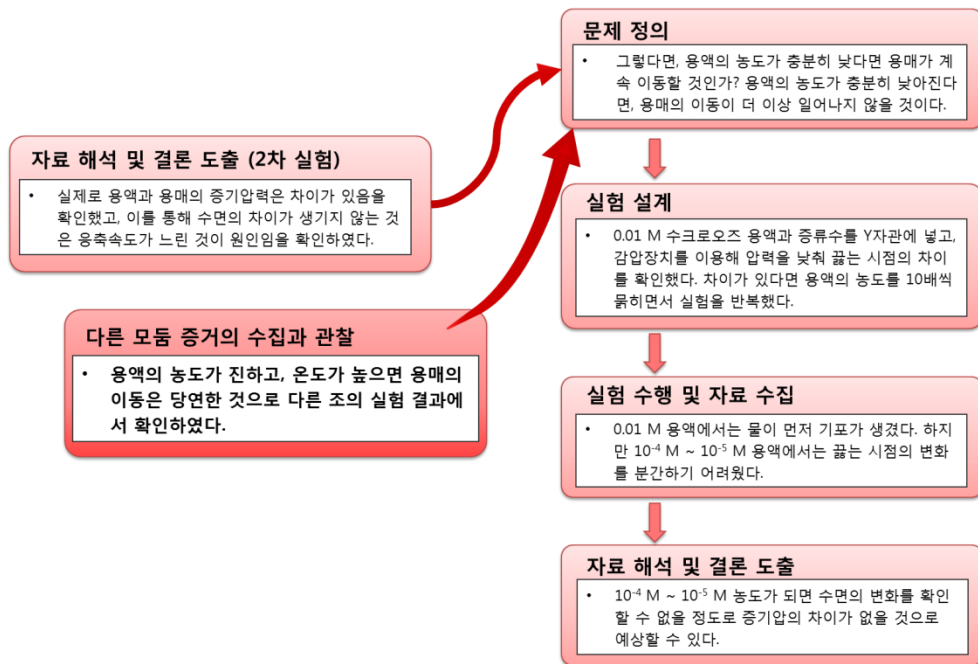


<그림 III-7> 용액과 용매의 증기압 차이 검증을 위한 탐구 수행 과정과 실험 장치

모둠 B가 구성한 탐구의 문제 정의는 이론적인 계산을 통해 설명하는 용액과 용매의 증기압 차이가 실세계에서 일치한 결과를 보일 것인가에 대한 문제인식으로부터 시작한다. 용액과 용매는 증기압의 차이가 있다고 설명하지만, 증발 속도의 문제로 인하여 이론적인 수치의 차이로 뒷받침할 수 있는 결과가 나타나지 않을 것으로 예측하고, 실험으로 검증하기 위한 절차를 취했다. 이 절차를 위해 구성한 실험은 닫힌 공간에 용액과 용매를 분리하여 넣고 관찰한다는 점에서 이전 실험과 유사하지만, 중간에 기체의 증발량을 비교할 수 있는 기름막을 넣었다는 점에서 차이가 있다. 모둠 B의 시도는 이전 실험을 통해 획득한 경험적 증거의 설명을 위하여, 증거에 기반하여 이론을 재검증하는 의미를 갖는다. 또한 이 실험을 통해 얻은 결론은 제시한 문제 상황에 대한 가설을 입증하기 위하여 단계를 분리하는 역할을 한다. 즉, 증발과 응축에 의한 용매의 이동을 확인하는 증거 수집 과정에서, 이동에 핵심적인 영향을 미치는 요인으로 응축 속도를 발견했다. 증발에 대한 고민이 아니라 응축을 문제로 정의하였다는 점에서 다른 모둠과는 다른 문제 정의를 통해 결론을 이끌어냈다고 볼 수 있다.

2.1.2.2 외부 증거의 수집과 활용

모둠 B가 새로운 문제를 정의하는 전략은 다른 모둠이 수행한 실험의 증거를 수집한 과정과 밀접한 관련이 있다. '이론의 검증'을 위한 실험을 설계하고 수행한 이후, 모둠 B는 앞선 탐구와 직접적으로 관련이 있는 응축 속도와 관련된 문제를 정의하고 실험을 설계하는 것이 아니라, 동시에 다른 모둠의 증거들을 관찰하여 새로운 문제를 정의했다. <그림 III-8>은 앞선 실험에 이어진 탐구 과정에 대한 순서도이다.

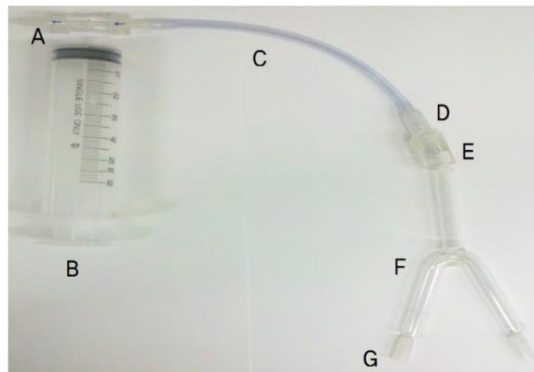


<그림 III-8> 용매가 일정 조건에서 이동하지 않음을 검증하기 위한 탐구 수행 과정

동일한 문제 상황에서부터 시작한 탐구이기 때문에, 대부분의 모듈이 비슷한 문제를 정의하여 탐구를 진행한다. 따라서 비슷한 실험을 수행하고 자료를 얻는데, 모듈 B는 다른 모듈의 자료와 자료에서 변환된 증거들을 종합하는 과정을 거쳤다. 다른 모듈의 증거로부터 사용하는 용액의 농도가 진하고, 높은 온도의 조건에서 실험을 수행하면, 용매가 모두 이동하지는 않지만, 확실히 이동한다는 것을 확인하였다. 수집한 외부 증거들을 종합하여 사용하는 용액의 농도 조건에 따라 다른 결과가 나타날 것이라는 문제를 제기했다. 문제 정의에 기반하여 매우 낮은 농도의 용액을 사용하면 증기압의 차이가 거의 없어 실세계에서 차이를 관찰할 수

없을 것이라는 가설을 수립했다. 검증하기 위한 실험으로는 증기압 내림에 의해 나타나는 현상인 끓는점 오름을 이용하였다.

모듬 B 구성원의 최종 보고서에서 발췌



그림의 A 와 같은 감압장치와 B의 60mL 주사기, C,D,E의 튜브를 사진과 같이 연결하고 틸새를 파라필름으로 밀봉하였다. 여기에 F의 Y자 관을 연결하고, G의 실리콘 마개로 Y자 유리관의 끝을 막았다. 그 뒤 주사기를 이용해 한쪽에는 물로, 다른 한쪽에는 용액을 같은 높이만큼 집어 넣고, ... (중략) ... 기포 방울이 여러 개 맺히면 끓기 시작했다고 판단하여, 증류수와 용액의 끓는점이 다를 경우 둘의 증기압이 다르다고 판단하였다. 그 뒤에는 용액을 1/10농도로 묽혀 다시 같은 실험을 진행하면서 끓는점이 구분되지 않는 농도를 찾았다.

<그림 III-9> 모듬 B가 사용한 용액과 용매의 끓는점 차이 확인을 위한 실험 과정

모둠 B는 <그림 III-9>에 제시된 실험을 최종으로 수행했다. Y자관의 양 가지 끝에 용액과 용매를 넣고, 일정한 온도의 비커에서 물증탕을 하며, 감압장치를 이용해 Y자관의 압력을 낮췄다. 이 때, 내부의 액체에서 기체 방울이 생기면 끓음으로 간주하고 기체 방울이 생기는 시점의 차이를 관찰함으로써 두 액체의 끓는점 차이를 확인했다. 두 액체가 끓는 시점이 다르면 증기압이 다른 것으로 판단하고, 더 이상의 끓는 시점의 차이가 없을 때까지 용액을 묻히며 실험을 수행해 10^{-4} M ~ 10^{-5} M의 용액과 용매의 증기압 차이가 없다는 결론을 도출했다. 모둠 B의 탐구 결론은 초기에 제시한 문제 상황에 대해 다른 모둠이 예상하거나 증거를 얻고자 한 모든 용매의 이동과는 차이가 있으며, 새로운 설명 모형을 사용한 것으로 이해할 수 있다.

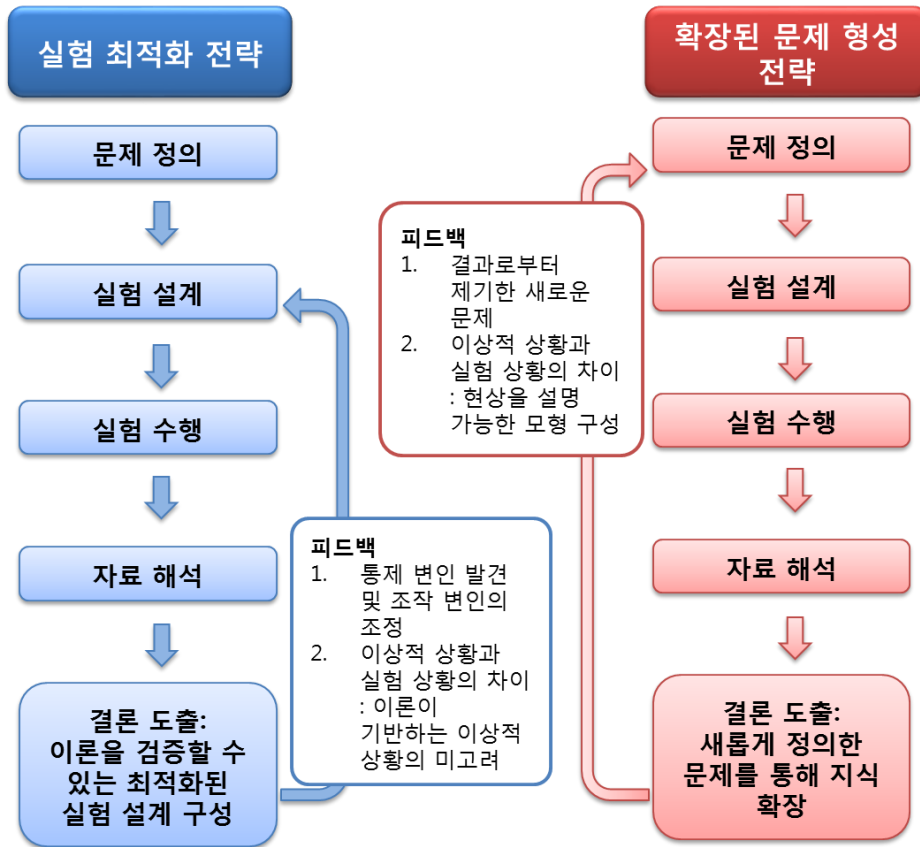
2.2 집단 간 문제 해결 과정의 의사소통과 특징

실험 최적화 전략과 확장된 문제 형성 전략은 <그림 III-10>에 제시한 바와 같이 자료나 증거를 기반으로 평가를 내리고, 새로운 탐구 문제를 형성하는 피드백 과정에서 차이를 보인다. 제시한 문제 상황은 증기압 내림 이론과 실세계로부터 얻은 자료 사이에 불일치가 일어난다고 참여자들이 판단할 수 있는 상황이다. Giere(1997)가 제시한 추론 모형에서 예측과 자료 간에 불일치가 일어날 때 참여자들은 이론에 기반해 새로운 증거를 수집, 구성하거나, 증거에 기반해 이론, 혹은 설명을 위한 모형을 수정해야 한다. 수정을 위해 참여자들이 택한 전략은 실험 최적화와 확장된 문제 형성이었다.

실험 최적화 전략을 활용한 모둠들은 새로운 실험적 증거를 얻기 위

하여 변인에 해당하는 요소들을 추가로 발견하거나, 조정하며, 도구적 수정 요소를 발견했다. 이 때, 실험의 목표는 거의 유사해 실험을 통해 획득하거나 확인하고자 하는 자료의 종류가 같았다. 자료 수집을 위해 수정한 실험 방법을 발견하여 예상한 결과를 얻을 수 있는 방법과 조건의 실험을 설계했고, 초기의 예측이 기반하는 과학적 모형과 일치하는 실험적 자료를 얻었다. 다만 변인의 조정이나 도구적 수정은 이론이 기반하는 이상적 상황을 고려하지 않는 경우가 많았다. 과학적 이론은 이상적 상황을 가정하고 있는데, 새로운 실험 설계 과정에서 용액의 총괄성이 잘 적용되는 이상용액을 고려한 경우는 거의 찾아볼 수 없었다.

확장된 문제 형성 전략을 사용한 모둠 B의 경우에는 결과로부터 새로운 추론을 하고 예측을 하며, 초기에 문제를 형성할 때와는 다른 관점에서 문제를 정의했다. 즉, 실험 결과를 기반으로 설명 모형을 수정하였다. 수정한 설명 모형은 앞선 사례에서 확인했던 바와 같이 이론의 검증이나, 반복되는 자료로부터 일반화된 패턴에 기반하여 제시하였다. 이를 통해 용액의 총괄성이 적용되어 증기압이 차이가 나는 것을 아주 낮은 농도의 용액에서는 가시적으로 확인하기 어려우며, 해당하는 농도를 찾아 현상에 대한 예측과 자료의 일치를 확인했고, 과학적 모형을 뒷받침했다.



<그림 III-10> 실험 최적화 전략과 확장된 문제 형성 전략의 탐구 과정에서 나타난 피드백의 차이

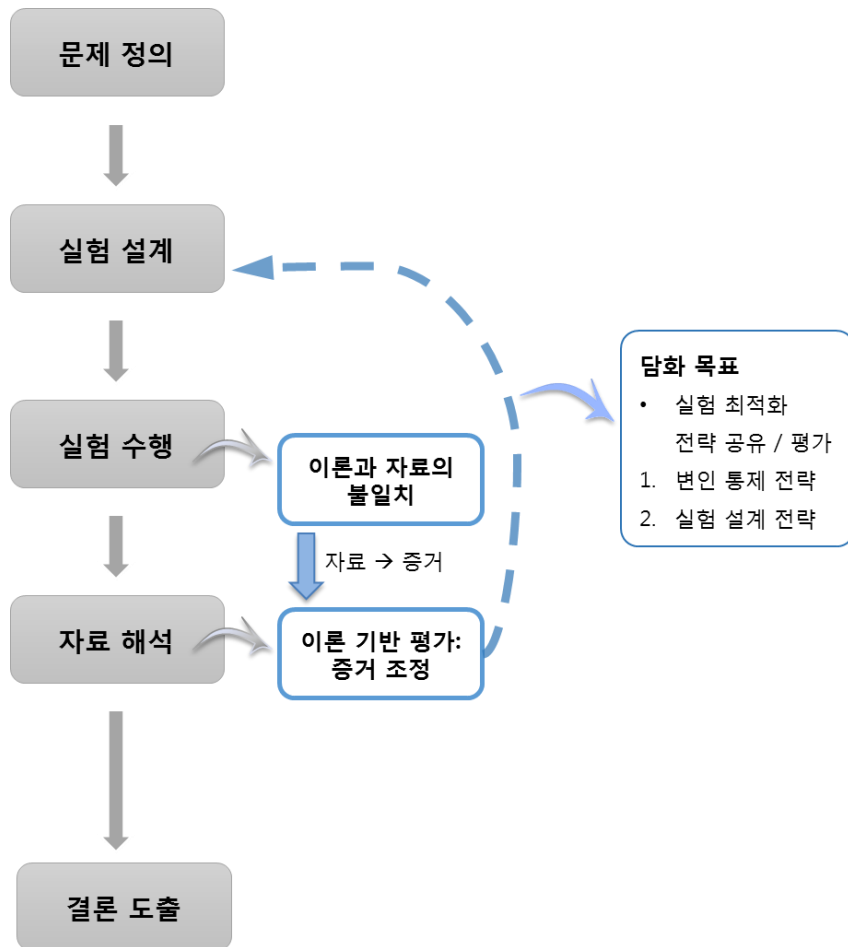
2.2.1 실험 최적화 전략

인식적 실행의 측면에서 실험 최적화 전략 집단은 이론과 증거의 불일치 상황에서 이론에 기반한 평가하고 증거가 갖는 문제를 제시하고 조정하였다. 따라서 탐구의 절차적 측면 중, 실험 설계의 기반이 되는 문제 상황에 대한 예측에는 큰 변화가 없었다. 모듈 A의 7회의 실험은 모

두 용매가 용액으로 이동할 것이라는 예측을 확인하기 위한 실험으로, 변인과 도구의 측면에서 문제를 정의하고 가설을 선정했다. 예를 들어 e-tube를 닫힌 공간인 바이알 내부에 설치하고 실험을 진행하였을 때, 0.6 mL 이상의 물을 넣고, 높은 농도의 용액을 사용하면 모든 용매가 증발하고, 용액의 양이 늘어나는 결과를 얻었다. 실험 결과는 이론적으로 예상한 결과와 증거가 일치했지만, 새롭게 문제를 제기했는데, 액체의 양이 새로 제시한 문제에 해당했다. 이론을 통해 실험적 자료를 타당하게 설명할 수 있지만, 증거가 제한적인 상황에서만 나타났으므로, 증거를 다양화할 수 있는 접근을 시도했다. 이 결과로부터 새로 설계한 실험은 이전과 마찬가지로, 모든 용매가 증발하고, 용액은 늘어날 것이라는 예측 아래, 닫힌 공간의 수증기 포화를 빠르게 하기 위한 수증기 투입에 대한 실험이었다. 이 실험에서는 플라스틱 용기의 비효율성에 대한 자료를 얻었으며, 용매의 이동에 대한 예측은 이전과 동일하게 옳은 것으로 판단하였다. 이처럼 다양한 시도의 실험 증거를 통해 이론에 가장 타당한 증거를 획득할 수 있는 실험 설계를 반복하는 과정에서, 이론에 기반한 예측은 항상 옳을 것이라는 인식을 갖고, 이론에 기반한 평가 양상을 보였다.

이론의 검증을 위한 탐구 설계는 열린 탐구 실험을 수행하는 학습 환경에서 자주 관찰할 수 있으며, 이론과 증거를 비교하고 판단하는 과학적 사고의 기회, 과학적 논의가 활발하지 못하게 하는 요인이라는 측면에서 비판을 받고 있다(Kirschner *et al.*, 2006; Klahr & Nigam, 2004). 실제로 초보 과학자들 혹은 과학자들도 수많은 시행착오에 의해 목표에 대한 최종 결론에 도달하며, 특히 초보 과학자들은 학습했던 개념, 이론들을 적용하고, 결과를 통해 다시 실험을 설계하는 과정을 반복한다

(Hmelo-silver *et al.*, 2002). 하지만, 이론과 자료가 불일치하는 상황에서 참여자들은 대부분 이론을 의심하기보다 증거를 반박하는 양상만을 보이며, 이는 절차적 지식의 확장이나 지식의 정당화에 학습자들이 만족하고, 이상의 단계로 나아가지 못했음을 의미한다. 즉, 불일치 상황을 만드는 자료 혹은 증거가 나타났을 때, 학습자는 이론과 면밀하게 비교하고 판단하여 모형 수정의 가능성을 고려하는 것이 과학 자체에 대한 학습을 이끄는 중요한 과정이지만, 참여자들의 탐구를 분석한 결과는 이러한 과정을 달성하기 쉽지 않음을 시사한다. 또한 이러한 결과는 이선경 등(2012)의 연구에서 제시한 결과와도 일치한다.



<그림 III-11> 실험 최적화 전략 집단의 이론과 증거의 조정과 실험실 내 담화 사용 양상

이론에 기반하여 평가하고, 증거를 조정하는 인식적 실행의 맥락에서 참여자들은 다른 모둠, 교수자와 주로 실험 최적화를 달성하기 위한 방법, 전략을 평가하고, 공유하기 위해 실험실 내 담화에 참여했다. 예를 들면, 모둠 A의 경우, 탐구의 중간에 닫힌 공간을 구성하기 위한 장치로

진공 용기를 사용하는 것으로 변경하였다. 이는 다른 모듈의 방법을 관찰하고, 효율적인 전략이라는 판단 하에 사용한 것이다. 즉, 다른 모듈도 비슷한 목적을 갖고 실험을 수행하며 자료나 증거들도 대부분 유사하다. 그 중에서 어떤 전략이 효과적인지 평가하여 차용한 것으로 볼 수 있다. 모듈 A는 주로 자료를 해석하며 새로운 증거로 예측을 검증하겠다는 판단을 내린 이후, 새로운 설계로 돌아가는 과정에서 실험실 내 담화를 사용한 것으로 해석할 수 있다 (그림 III-11).

연구자: 그러면 그런 아이디어들은 실험했던 실패 속에서 나왔던거네요?

참여자 1: 네. 실패한 것도 있고. 다른 조들의 의견도 있고.

연구자: 다른 조 애들이랑 얘기하다가?

참여자 2: 저희 실험 결과도 그렇고, 다른 조 실험 결과도 그렇고 서로 얘기하는 과정에서 아 저렇게도 생각할 수 있겠구나.

연구자: 어떤 의견을 뭐 반영을 했었는지 기억나는게 있어요?

참여자 2: 펌프, 진공 펌프(진공 용기) 같은 경우에는 OO조였던거 같은데, 거기에 위에 있는게 적으면 적을 수록 빨리 증발이 일어나니까 좀더 빨리 결과를 얻을 수 있고 우리가 빠르게 결과를 얻을 수 있지 않을까 라는 의견이 있었어서 그러면 그거 맞는거 같다고 그래서 시도해봤던거 같아요.

연구자: 그 의견이 타당해 보인다고 생각해서?

참여자 2: 네.

(모둠 A와의 면담에서 발췌)

2.2.2 확장된 문제 형성 전략

모둠 B는 탐구 문제를 정의하며 보인 인식적 실행은 이론 기반 평가와 더불어 증거에 기반에 둔 평가도 나타나는 것을 확인했다. 처음에는 증기압 내림에 근거하여 모든 용매가 용액으로 이동할 것이라는 예측을 검증하기 위해 실험 최적화 전략을 사용했다. 하지만, 이론을 평가하고, 증거를 기반으로 새롭게 구성한 과학적 모형을 검증함으로써 현상에 초점을 맞춘 모형을 구성했다. 증기압 내림을 검증하기 위해 증발 속도의 차이를 검증한 것은 앞서 강조한 바와 같이 예측이 기반하고 있는 이론을 검증하기 위함이다. 이 때 영향을 미친 것은 본인들의 자료와 증거, 외부의 자료와 증거들과 이에 대한 분류, 평가한 결과이다. 실제로 증기압 내림이 현상에 적용될 때, 이론과 증거가 일치하는 경우가 다수의 모둠의 결과로 확인되었다. 이에 대해 모둠 B는 아래 면담 발췌문에 드러난 바와 같이, 이론과 증거가 일치하는 상황이 매우 제한적인 높은 농도 조건에서만 이루어진다고 평가하였다. 그리고 증거와 이론이 모두 제한적인 상황이라면, 이론이 설명할 수 있는 현상의 범위를 확인하고, 평가하고자 하는 전략을 제시해, 증거를 기반으로 이론이 설명할 수 있는 범위를 검토하고자 하는 인식적인 실행을 보여주었다.

참여자 3: 그래서 실험을 했는데, 전혀 이동을 할 생각을 안하는거예요. 그래서 다른 조를 봤는데 다른 조들은 그냥 농도를 아무 생각없이 되게 진하게 해서 실험을 하더라고요. 확실히 진하게 실험을 하니까 용액이

이동을 하긴 하는거예요. 그래서 우리도 어 좀 더 진하게 해볼까 했는데
생각해보니까 진하게 해서 물이 그만큼 이동하고 나서 거기서 더
이동하는지를 보는 것과 애시당초에 용액을 묽게 만들어서 이동하는거
보는거하고 차이가 없다 생각이 들어서 그럼 우리가 정말 보고싶은게
증기압력 차이라면 그거만 볼 수 있는 실험을 해보자 해서...(생략)

(모둠 B와의 면담에서 발췌)

마찬가지로, 다른 모둠의 실험 자료와 증거들을 수집하고 평가해, 현
상에 대해 일관성 있는 모형을 구성했다. 이에 이론은 제한적인 상황
에서만 실세계를 설명할 수 있다는 의견을 모둠 내에서 결정하여, 모형을
수정하였다. 즉, 매우 높은 온도와 농도 조건에서는 용매가 용액으로 이
동하지만, 낮은 온도와 농도의 조건에서는 그러한 변화가 나타나지 않을
것이라는 패턴을 분석했다. 즉, 모둠 B는 외부의 자료, 혹은 증거를 조
건과 결과에 따라 분류하고, 일반화된 패턴으로 정리하는 인식적인 활동
을 수행했음을 알 수 있다. 또한 일반화된 패턴은 모둠 B의 참여자들이
구성한 모형에도 영향을 주어, 낮은 농도에서는 증발하는 액체의 양이
용매와 용액이 거의 동일해, 충분한 시간이 지나도 확인할 수 없을 것으
로 모형을 수정하였다. 이는 증거를 기반으로 현상을 평가해 모형을 수
정한 활동으로 증거 기반 평가라고 볼 수 있다.

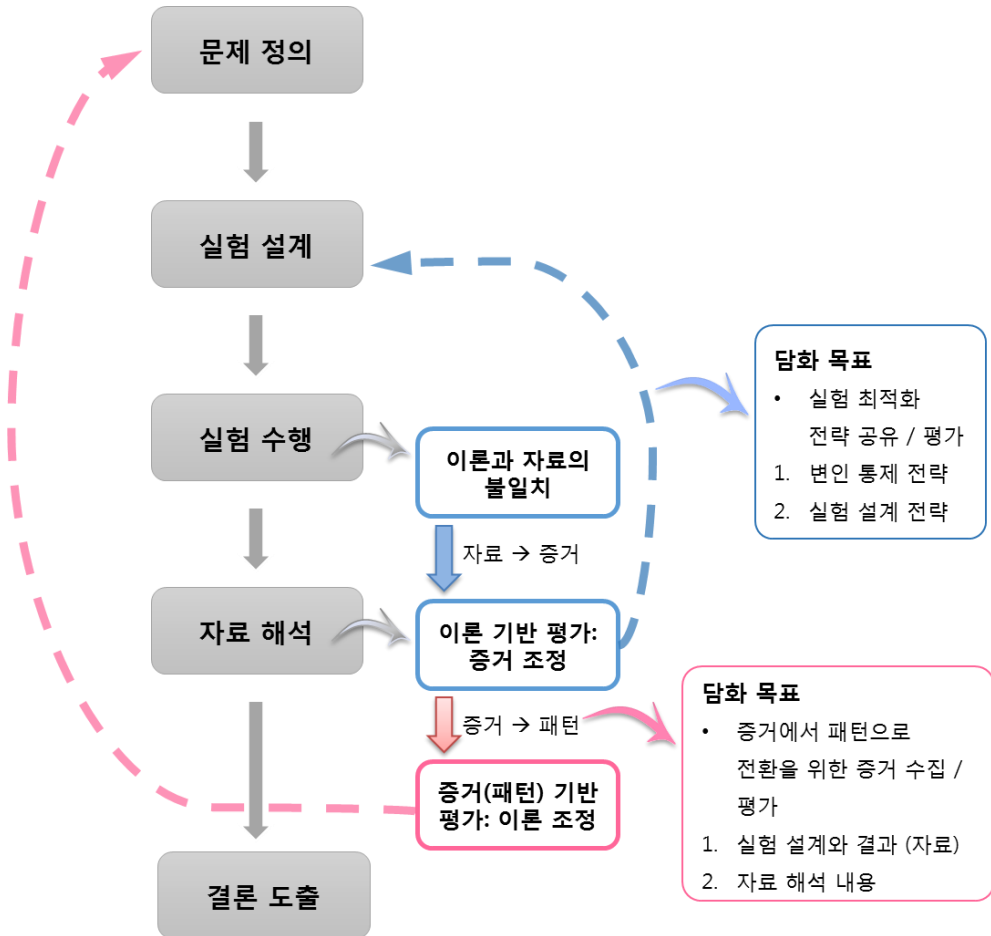
그런데 다른 조의 실험 결과 포화 설탕 용액과 증류수를 같은 부피만큼
Y자관에 넣고 밀봉한 뒤 40℃의 오븐에 넣어둔 경우 물이 모두 이동한
것이 관찰되었다. 이를 통해 용액이 충분히 진하고 온도가 높다면

용매의 이동속도가 빨라 모두 이동할 것이라는 것을 알 수 있었다. 그러나 한편으로는 용액이 매우 진하고 온도가 높으면 용매가 이동하는 것은 당연한 일이고, 이와 같은 실험이 알려주는 바가 무엇인지에 대한 의구심이 들기 시작했다. 궁극적으로 알고자 하는 것은 충분히 시간이 지났을 때 용액이 어느 정도 묽어질 때까지 용매가 이동하는가, 과연 용매와 용액은 아무리 묽은 용액이라도 그 성질이 다르므로 용매는 무한히 이동할 것인지, 아니면 어느 순간 멈출 것인지를 생각하게 되었다.

(모둠 B 구성원의 최종 보고서에서 발췌)

모둠 B의 탐구 과정과 문제 정의 전략을 요약하면, 이론과 자료가 불일치한 상황에서 이론 기반의 평가와 증거 기반의 평가를 모두 경험했다. 이론에 기반하여 평가하는 과정은 다른 모둠과 마찬가지로 이론적 수치에 최적화된 자료를 얻기 위해 실행하였다. 하지만 반복되는 자료나 증거가 제시되고, 제한적인 상황에서만 이론과 증거가 일치한다는 평가를 통해, 새로운 종류의 문제를 정의하고 해결하는 양상을 보였다. 따라서 모둠 B는 실험실 내 담화를 다양한 증거를 수집하고 평가하기 위한 목적으로 사용하였음을 알 수 있으며 (그림 III-12), 담화의 결과는 다양한 추론의 방법 중, 관찰 사실로부터 지식을 구성하는 귀납적인 추리 (Kuhn *et al.*, 1988; Lawson, 2004)의 발판이 되었다. 즉, 실험실 내 담화 참여가 새로운 방법이나 전략을 공유하기 위한 목표가 아닌, 증거에서 패턴으로 일반화하고 모형을 수정하는 과정에서 핵심적인 역할을 수행했다. 증거와 패턴을 기반으로 모형을 평가함에 따라, 물과 소금물의 증발에 대한 논리적인 설명과 증거가 일치하는 단계에 도달했다. 따라서

탐구를 통해 인시적 실행으로 대변할 수 있는 실질적인 '과학 하기'를 달성했다고 평가할 수 있다.



<그림 III-12> 확장된 문제 형성 전략 집단의 이론과 증거의 조정과 실험실 내 담화 사용 양상

2.3 과학적 의사소통으로서 논변의 중요성

자료를 토대로 논리적 설명을 구축할 수 있도록 하는 것은 탐구를 활용한 과학 학습의 중요한 목적 중의 하나이다(Crawford *et al.*, 2005). 하지만 다양한 요인들이 작용하여 실험 결과에 영향을 미치는 실세계의 현상을 논리적으로 설명하는 것은 쉽지 않은 일이다. 특히 이론과 자료가 불일치하는 경우에 자료 획득의 실수에 의한 경우가 많으며, 자료의 타당성을 의심하기 쉽다. 이론과 자료가 불일치하는 인지갈등 상황을 학습에 활용하는 경우, 교사나 프로그램 개발자는 새로운 과학 지식을 탐색하도록 하는 것을 기대하지만(Kuhn *et al.*, 1988), 자료 획득의 오류 이외에도, 메타인지적 사고의 어려움, 인식론적 신념 등의 다양한 요인으로 인해 실제로 달성하기는 어렵다(Kuhn, 2004; 박종원 등, 1993; 이선경 등, 2013).

본 연구의 학습 상황과 같이 동일한 문제 상황에 대해 실험을 하는 많은 집단이 있는 경우, 다양한 자료와 증거들이 있기 때문에 증거를 평가하고 이론적 측면에 대해 논의할 수 있는 기회가 많다. 하지만 과학적 지식을 굳게 신념으로 유지하고 증거를 해석한다면, 양방향의 평가는 쉽게 달성할 수 없을 것이다. 일반적인 학교 환경의 과학에서는 이론과 증거 사이의 평가와 조정을 위한 실험을 활용하기 어렵고, 주로 확인과 검증 위주의 실험이 진행되기 때문인 것으로 예상할 수 있다(박현주, 2013).

확장된 문제 형성 전략의 사례는 무엇을 논의해야 하는가에 대한 방향을 제시하며, 문제 해결 과정에서 논변의 중요성을 시사한다. 특히 모듈 B의 담화 참여와 인식적 실행의 결과가 시사하는 바는 자료, 증거,

패턴, 모형과 같이 과학의 인식적 실행의 요소들을 평가하고 논의하는 것이 중요하다는 것이다. 타당성을 갖춘 주장의 구성을 위해 증거를 평가하고 반성적으로 사고하는 것을 촉진할 수 있는 과정은 논변활동을 강조함으로써 달성할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 논변활동이 촉진될 수 있는 환경을 구축하고 학습 과정을 설계하며, 주장 제기와 의견 합의에 적합한 과제를 개발하는 것이 필요하다. 또한 국내외의 많은 이론적 연구와 적용 연구들을 기반으로, 조사와 실험을 기반으로 하는 논변활동의 촉진 방안을 탐색해야 할 것이다.

3. 요약

이 연구는 소집단 과학 탐구를 수행하는 과정에서 학습자들이 어떻게 문제를 정의하고 해결하는지 확인하기 위하여 진행된 연구이다. 서울 소재 대학교에서 화학 교육을 전공하고 있는 21명의 대학생이 총 10개의 모둠을 구성하여 6주간 탐구를 수행했다. 연구 자료로 참여자들이 작성한 계획서와 결과 보고서를 토대로 참여자들의 탐구를 분석하였고, 어떤 문제를 정의했는지, 문제 정의에 대하여 이론과 증거를 어떻게 조정하였는지 확인하였다. 심층 면담을 통해 참여자들이 실험실 환경에서 소집단 간 담화를 어떻게 활용하였는지 확인하여, 실험실 내 의사소통과 문제 해결이 어떤 연관을 갖는지 분석하였다. 분석 결과를 토대로 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

탐구 문제로 제시된 물과 소금물의 증발을 설명하기 위해 참여자들은

크게 두 가지로 구분할 수 있는 전략을 활용했다. 10개의 모둠은 모두 실험을 수정하여 초기에 예측한 결과를 얻기 위한 실험 최적화 전략을 이용했다. 최적화를 위해서는 새로운 변인을 발견하여 통제하거나, 조작 변인을 조절하거나, 실험 도구를 바꾸는 방법을 택했다. 이를 통해 증기압 내림을 이용해 현상을 설명할 수 있는 효과적인 실험 방법을 제안하였다. 참여자들 중, 1개 모둠은 확장된 문제를 형성하는 차별적인 전략을 활용했다. 증기압 내림에 대한 개념적인 검증을 위한 문제와 반복적으로 나타나는 증거들을 패턴으로 변화시키는 과정에서 설명 모형을 수정했고, 모형을 검증함으로써 확장된 문제에 기반한 예측을 정당화했다. 확장된 문제를 해결함으로써, 이 모둠은 실세계에서 증기압 내림 현상이 일정 농도 이하의 용액에서는 용매와 가시적인 차이를 보이지 않는다는 결론에 도달했다.

두 가지 전략은 이론과 증거를 조정하는 양상과 집단 간 담화를 활용하는 목적에서 차이를 드러냈다. 실험 최적화 전략 사용의 경우, 이론과 증거가 불일치하는 상황에서 이론에 기반하여 평가하고, 증거를 조정하고자 하였다. 따라서 현상에 대한 새로운 문제를 정의하기보다, 이론을 정당화할 수 있는 증거의 수집이 가능하도록 실험 설계를 수정했으며, 실험 설계에 대한 문제를 정의했다. 새로운 실험 설계를 위해 다른 모둠이 수행한 실험을 살펴보고, 효과적인 전략을 차용하거나, 다른 모둠이 고려한 변인을 공유하는 것을 목표로 실험실 내 담화에 참여하였다. 확장된 문제 형성 전략을 활용한 모둠은 이론과 증거의 불일치 상황에서 증거에 기반하여 평가하고, 자신들이 초기에 제시한 모형을 수정하였다. 다른 모둠의 결과에서 비슷한 자료와 증거가 지속적으로 나타남에 따라, 실험 결과들을 수집하고 평가하였으며, 최종적으로 증거를 패턴으로 일

반화했다. 일반화된 증거는 모형 수정의 근거가 되었으며, 현상을 설명하기 위한 새로운 예측과 문제 정의를 이끌어냈다. 새로운 문제를 정의하는 과정을 분석한 이 연구의 결과는, 수많은 담화가 이루어지는 실험실 내 환경에서 무엇을 논의하게 할 것인지에 대한 방향성을 제시한다. 또한 논의의 주제에 대한 지향점의 제안과 더불어 어떻게 논의를 촉진할 것인지 추후 연구를 토대로 이루어져야 함을 제안할 수 있다.

본 연구는 제한된 인원과 소수의 집단이 보인 결과만을 바탕으로 분석한 연구이기 때문에, 결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 또한 참여자들의 과학에 대한 태도, 성취 동기와 같은 개인적 변인을 조사하였으나, 참여자들의 특성을 완전히 통제하였다고 보기 어려워, 참여자들 개인적인 인식론적 특성과 탐구 수행간의 관계를 밝혔다고 볼 수는 없다.

IV. 과학적 논변활동 촉진을 위한 과제의 개발과 적용

이 연구는 과학 탐구를 이용한 논변 프로그램에서 드러난 참여자들의 논변 특성과 양상을 분석하여, 과학적 논변활동을 활발하게 진행하기 위한 프로그램의 요건과 쟁점 사안들을 확인하기 위하여 진행하였다. 따라서 2회의 사전 적용 성격의 프로그램에서 나타난 결과와 최종적으로 수정된 논변 프로그램에서 나타난 결과를 포함하였다. 총 3회에 걸친 논변 프로그램의 수정과 적용을 토대로, 탐구와 결합한 과학적 논변활동을 촉진하기 위한 방안과 전략을 모색하고자 한다.

1. 연구 방법 및 절차

1.1 프로그램 개발과 적용

1.1.1 개발 원리의 구성

본 연구에서는 탐구를 기반으로 한 논변 과제를 개발하기 위하여, 세 가지의 개발 원리를 조직하였다. 개발 원리는 논변활동이 가능한 문제와 주제, 탐구 전략, 논변을 위한 지원 환경 조성이라는 세 가지 측면으로 구성하였다(Yoo *et al.*, 2012). 각각의 측면을 구체적으로 적용하기 위한 세부 요소를 <표 IV-1>와 같이 조직하였다.

<표 IV-1> 과학 논변 프로그램 개발을 위한 개발 원리와 세부 요소

개발 원리	세부 요소
논변활동이 가능한 문제와 주제	인지적 갈등을 유도 하는 문제 맥락적인 주제
탐구 실험 전략	구체적 목표와 과제 제시 POE 모형 활용 의견의 합의 과정 제시
논변을 위한 지원 환경 조성	정보와 도구에 대한 원활한 접근성 탐구 및 논변활동의 조력자

첫째, 참여자들이 다양한 의견을 제시하고 적극적으로 담화에 참여할 수 있도록 주장에 대한 동기 부여를 일으킬 수 있는 문제와 주제를 사용했다. 동기 부여를 위하여 실험 상황에서 얻게 되는 자료나 관찰 결과와 초기의 예측이 불일치한 상황을 제시하여 인지적 갈등을 유도하였다(Zohar & Nemet, 2002). 본 연구의 참여자가 교사임을 고려하여, 현재 교육과정에 제시되어 있는 실험 활동을 이용하여 친숙한 문제 상황을 형성하였다(Sandoval & Milwood, 2005). 또한 인지적 갈등을 해결하기 위한 의견을 제기할 수 있는 수준의 문제 상황을 제시하였다. 이와 같이 인지 갈등을 유도하는 상황은 참여자들이 새로운 해결책으로 나아가기 위해 문제를 인식하고 해결 전략을 구성하는 과정에서 논변활동을 유도할 수 있을 것으로 기대하였다. 한편 다양한 주장 제시가 가능한 주제를 위해 구성된 갈등 상황은 단순히 자료나 결과를 문헌의 형식으로 제시하

는 것이 아니라, 경험적으로 관찰할 수 있는 실험 활동으로 구성하였다. 경험적으로 관찰한 사실과 자료는 주장의 근거로 사용할 수 있을 뿐 아니라(Sandoval & Reiser, 2004; Osborne *et al.*, 2004), 참여자가 갖고 있는 지식과 선경험, 관찰에 대한 인식론적 관점에 영향을 받아 다른 관점과 주장, 설명을 유도할 것으로 기대하였다.

둘째, 구체적인 맥락과 각 맥락에서 해야 하는 활동의 내용을 명시적으로 제시하였다. 즉, 논변활동이 진행되는 과정 중에 수행해야 할 과제를 명확하고 구체적으로 제시함으로써, 주장 구성을 위한 이론과 자료의 평가와 조정, 의사 결정이나 주장의 합의와 같은 사회적 활동에 초점을 맞출 수 있도록 하였다(Simon *et al.*, 2006). 제시된 문제 상황에 대한 주장을 제기하고, 논의를 통해 합의하는 활동이 원활하게 일어날 수 있도록 POE (Prediction-Observation-Explanation) 학습 모형을 이용하였다. 전체적인 흐름은 예측과 설명 단계에서 개인의 의견을 먼저 작성한 이후에 모두의 의견을 수렴할 수 있도록 과제를 제시했다. 구체적으로 과제를 제시하는 전략은 다양한 주장을 제시할 수 있는 문제 상황의 특성과 연계해 다양한 주장을 유도할 수 있을 것이라 기대하였다. 또한 논변에 대한 이해를 신장할 수 있도록, 제기된 주장들을 평가하여 합의를 유도하는 과제를 제시하였다. 연구 참여자인 과학교사들은 교과 과목에 대한 풍부한 이해를 가지고 있지만, 논변에 대한 이해는 정교하지 않고, 경험이 풍부하지 않을 것으로 예상했다. 따라서 논변활동에 익숙하지 않은 참여자들을 위해 집단 내에서 주장을 합의하도록 이끄는 구체적인 과제를 포함하였다.

마지막으로 활발한 논변활동을 지원하기 위한 환경을 구성하였다. 다양한 주장과 뒷받침 할 수 있는 근거의 사용을 위하여 현상과 관련된 정

보, 객관적 자료를 제공할 수 있는 지원 영역을 선정하였으며, 다양한 실험 장치와 구성을 활용할 수 있도록 도구에 대한 접근성을 높였다. 과학적 논변은 담화의 맥락 안에 있는 구성원 간에 서로 동등한 지식의 권위를 갖고 있으며, 참여자들이 실제 동등하다고 인식하고 있을 때, 활발한 논의가 진행될 가능성이 높다(Jiménez-Aleixandre & Pereiro-Munhoz, 2005; 김희경과 송진웅, 2004; Park, 2010). 따라서 참여자들이 논변활동에 참여하는 동안, 진행자는 프로그램의 진행 과정을 안내하고, 지원체계를 설명하는 등의 역할을 맡아, 프로그램이 원활하게 진행될 수 있는 조력자의 역할을 수행하였다.

1.1.2 개발 원리의 적용

프로그램의 개발 원리를 이용하여 기체의 온도와 부피의 관계를 탐색하는 실험을 실제 프로그램에서 적용하였다. 기체의 온도와 부피 사이의 관계를 확인하기 위한 실험을 진행하는 과정에서 개발 원리는 <표 IV-2>과 같이 구현하였다. 친숙한 맥락의 문제 상황을 제시하기 위하여, 과학 교사들에게 익숙한 소재로써 고등학교 2학년 교과서에 주로 제시된 샤를의 법칙을 확인하는 실험을 주제로 활용했다. 샤를의 법칙에 대한 교과서 제시 실험은 기체의 부피와 온도 사이의 비례관계에 대해 실험 결과를 얻어내는 과정으로 구성되어 있다. 이론에 근거한 설명에 따르면 온도 변화에 따른 기체의 부피 변화는 선형적으로 나타나야 하지만, 실제 실험을 수행했을 때, 비선형적이거나 기체의 부피가 변화하지 않는 실험 결과가 자주 나타난다. 이론과 증거가 일치하지 않는 상황을 접했을 때, 증거를 의심하거나 이론에 근거한 설명을 수정하는 조정 과정, 추론과정을 거칠 것을 기대하였다(이선경 등, 2012).

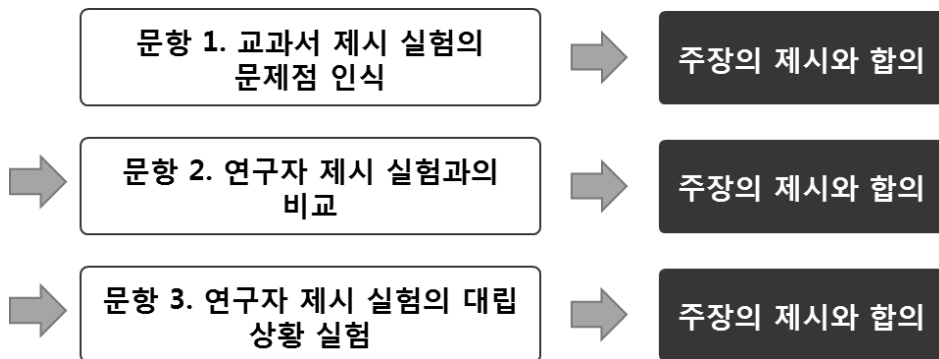
<표 IV-2> 샤를의 법칙 관련 실험의 맥락에서 적용한 개발 원리

개발 원리	적용
논변활동이 가능한 문제와 주제	샤를의 법칙 실험에서 발생한, 예측과 다른 실험 결과 샤를의 법칙의 이론적 예측과 일치하는 결과를 얻기 위해 제작한 도구의 활용 활동: 실험 설계와 변인 통제를 중심으로
탐구 실험 전략	정량적이지 않은 결과의 관찰을 통해 원리적인 측면에서 문제 발견 정량적 결과를 얻기 위한 실험 개선의 방법의 예측과 평가
논변을 위한 지원 환경 조성	배경 지식 자료, 예시 논변으로 구성된 읽기 자료의 제시 프로그램 조력자 역할의 수업 진행자

하지만 학교 과학과 교실 상황의 특성 상, 심도 있는 추론을 위한 충분한 시간이 제시되기 어렵고, 이론과 증거 사이의 조정을 수행할 여유가 부족하다. 따라서 충분한 추론과정을 거쳐 평가하고 합의에 이를 수 있도록 이론과 자료를 비교할 수 있는 주제를 제시하였다. 이를 위해 이론적 측면을 강조하여 실험의 문제점을 다른 과학적 원리와 접목할 수 있도록, 실험에 영향을 미치는 요인을 근거로 판단하고 논의할 것을 명시적으로 제시하였다. 또한 문제의 원인으로 분석한 요인을 수정할 수 있는 실험 설계를 제안하도록 과제를 제시함으로써 논변활동을 수행하도록 하였다. 이와 같이 구성한 문제와 과제에 대한 개발 원리의 적용은 샤를의 법칙에 부합하지 않는 결과에 대하여 이론적인 측면과 증거의 문

제점 측면에서 동일하게 접근하도록 참여자들을 이끌 것으로 기대하였다.

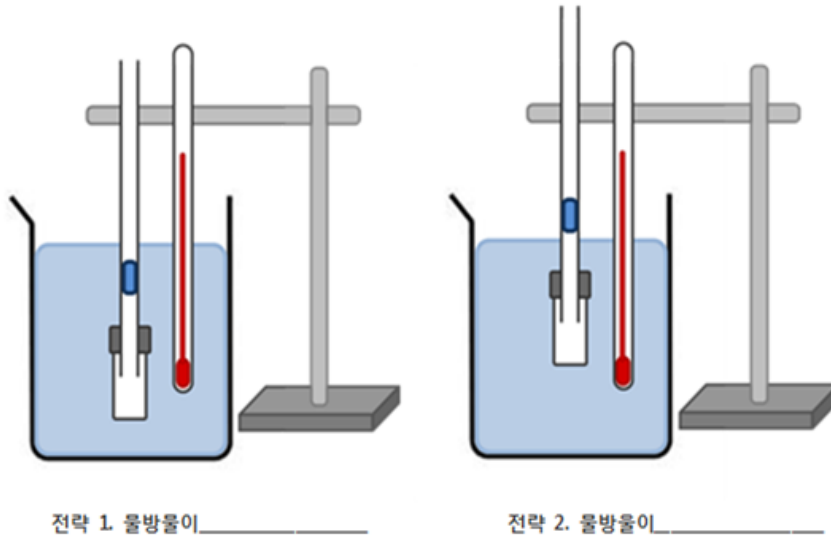
탐구 실험 전략은 탐구 과정을 제시함으로써 적용하였다. 제시된 실험 상황에서 이론과 일치하지 않는 결과를 확인하고 원인을 분석하여, 문제를 인식하는 과정을 첫 단계로 제시하였다. 이어 인식한 문제를 해결하기 위한 탐구 실험을 설계하도록 단계를 구성하였다. 이처럼 탐구를 진행하는 과정의 각 단계에서 구체적으로 수행해야 하는 과제를 통해 주장을 구성하는 형태로 구성하여, 참여자들 간의 토의가 일어나도록 프로그램을 구체화하였다. 또한 논변활동을 더 풍부하게 수행할 수 있도록, 변인 통제를 중심으로 하는 실험 설계과정의 대립상황을 제시하였다. 세 번째 개발 원리인 환경 조성을 위해, 데이터베이스 형태의 읽기자료와 문제 상황에 대해 구성한 예시 논변을 제시하였다. 한편 수업 진행자는 프로그램의 과정과 지원체계를 설명하는 진행자 역할과 논변활동을 지원 하는 조력자의 역할을 수행하였다.



<그림 IV-1> 샤를의 법칙 논변 프로그램의 진행 과정

개발 원리를 적용하여 구성한 수업은 <그림 IV-1>의 과정으로 진행하였다. 총 3단계의 활동을 통해 논변활동을 수행하도록 제시하였으며, 각 문항마다 소집단 내 의사 결정을 내릴 수 있도록 문항을 구조화하였다. <문항 1>은 현재 교과서에 제시된 실험을 수행하여, 이론에 근거한 설명인 선형적인 결과를 얻기 어렵다는 것을 확인하고 차이를 만드는 요인에 대하여 논의하는 과정으로 구성하였다. 또한 소집단 내에서 합의한 문제 요인을 해결하기 위한 실험 설계 방법에 대하여 논의하도록 하였다. <문항 2>는 앞선 실험의 문제를 해결하기 위해 사전에 연구자가 개발한 실험과 도구를 제시하고, 이전 단계에서 참여자들 간에 합의했던 문제 요인들과 연구자가 개발한 실험 도구가 해결하고자 한 요인을 비교하였다. <문항 1>의 합의한 내용과 연구자 제시 실험 간의 공통점과 차이점을 발견함으로써 이전 활동에 대하여 참여자들 스스로 평가하고, 자연스럽게 다음 문항으로 연결되도록 하였다.

※ 앞선 실험을 설계한 학생들이 물방울의 위치에 대한 두 가지의 실험 전략을 두고 어떠한 방법이 옳은 것인지 고민하고 있습니다.



<그림 IV-2> 샤를의 법칙 논변 프로그램 <문항 3>의 예시

<문항 3>에서는 이전 문항에서 연구자가 제시한 실험 도구를 활용한 대립상황을 제시하였다. 변인 통제의 측면에서 서로 다른 실험 구성을 제시하여 논의를 진행하고, 합의한 전략의 실험을 수행하도록 활동을 구성하였다. 특히 <문항 3>은 같은 장치를 활용한 두 가지 대립 실험 사례를 제시해 실험 설계 과정에서 거쳐야 하는 다양한 의사 결정을 경험하고 다양한 문항에 대해 합의할 수 있도록 하였다. <그림 IV-2>는 <문항 3>의 한 가지 사례로, 기체의 온도와 부피의 관계를 측정하는 실험에 영향을 미치는 변인들 중에 전체 온도의 통제와 전체 기체 양의 통제의 두 가지를 비교하여 무엇이 더 중요한 통제 변인인지 결정하는 활동이다. 제시한 두 실험 전략 중에서 더욱 중요한 요인을 고려한 실험을

선택함으로써, 명백한 의견 간 설득과 반박이 나타나도록 유도하였다. 앞선 수업 적용 사항들을 총 3회의 연구 수업을 진행하는 동안 드러난 쟁점 사항들을 중심으로 각 수업 후에 연구자 간 논의를 통해 논변활동이 일어나기에 적합한 형태로 수정하는 작업이 이루어졌다.

1.2 연구의 맥락과 연구 참여자

본 연구에서는 활발하고 풍부한 논변활동을 가능하게 하는 프로그램을 구성하기 위하여, 참여자들의 논변 양상을 토대로, 프로그램을 수정하였다. 따라서 2회의 사전 검사와 1회의 실제 교사연수를 진행한 결과를 모두 분석하여 연구의 결과로 활용하였다. 따라서 3회에 걸친 프로그램 적용에 참여한 교사들 8인이 연구 참여자가 되었다. 사전 검사에 해당하는 1차 프로그램 참여 이전에, 연구 참여자들에게 논변에 대하여 안내하였으며, 실험 결과를 통해 의견 간의 합의가 프로그램의 목적임을 설명하였다. 2회에 걸친 사전 검사 중, 1차 사전 검사에는 3인의 교사가 1개의 소집단을 구성하여 논변활동을 수행하였다. 결과에 대한 연구자와 공동 연구자의 반성적 평가를 거쳤는데, 하나의 실험 결과는 근거의 사용을 확일적으로 제한하며, 참여자 간의 논의를 축소시킨다는 한계점을 발견하였고, 다양한 실험 결과를 획득할 필요가 제기되었다. 따라서 2차 사전 검사에는 1차 사전 검사에 참여한 3인의 교사와 연구자가 모집한 1인의 예비교사가 참여하여 2명이 1개의 소집단을 구성하였다. 예측단계에서 각 소집단이 합의한 의견에 따라 각각 실험을 진행하여, 두 실험 결과를 얻도록 하였다, 이를 통해 근거가 도출되어 논변 양상을 풍부하게 해 줄 것으로 기대하였다.

2차에 걸쳐 수정 개발한 논변 프로그램은 과학적 논변에 대한 교사 전문성 향상을 위한 직무연수에서 사용하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램의 적용은 과학적 논변과 논변 수업으로 구성된 이틀간의 교육이 진행된 이후에 이루어졌다. 사전에 참여자들이 수강한 내용은 논변의 이론적, 역사적 배경과 툴민(Toulmin)과 논변 분석 도구, 논변 수업 설계의 원리와 방법이었다. 본 연구에서 사용한 논변 프로그램에는 4명이 1개의 소집단을 구성하여, 2개의 소집단, 총 8명이 논변활동을 진행하였고, 이 중 1개의 소집단을 분석 대상으로 삼았다. 분석한 소집단의 구성원 중, 3명의 전공은 화학이었고, 1명은 지구과학이 전공이었다. 연구 참여자 중, 1명의 예비교사를 제외하고 모두 5년 이상의 현직 경력을 지닌 교사들이었다.

<표 IV-3> 연구 참여자의 코드

프로그램 No.	연구 참여자
1차 프로그램 (1차 사전 검사)	A, B, C
2차 프로그램 (2차 사전 검사)	A, B, C, D (예비 과학교사)
3차 프로그램 (교사직무연수)	E (화학 비전공 교사), F, G, H

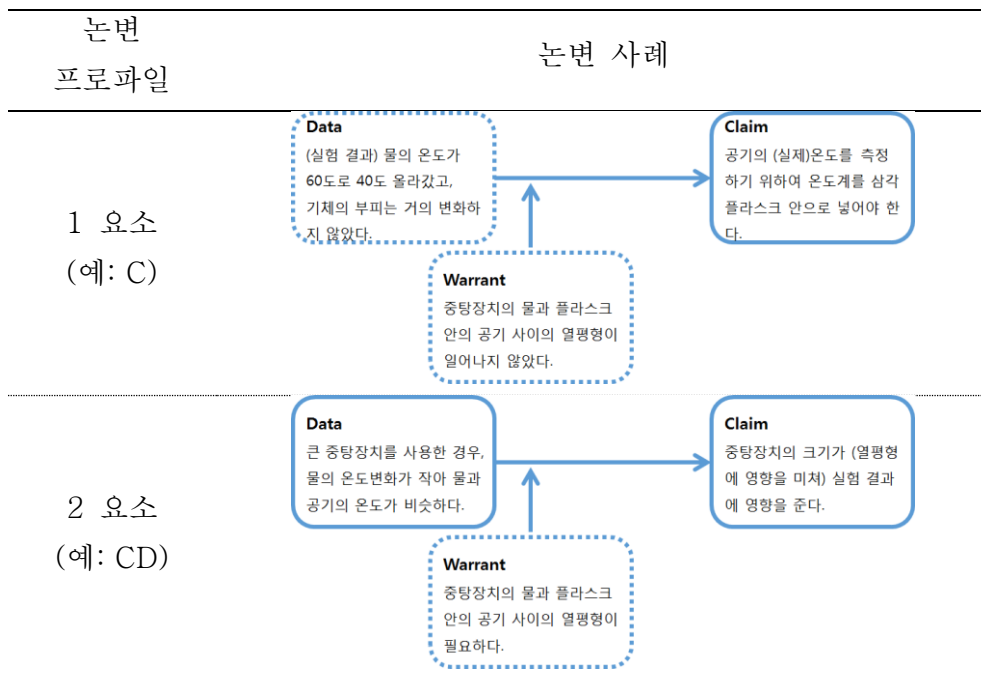
1.3 자료 수집 및 분석

샤를의 법칙 실험을 기반으로 한 논변 프로그램에서 참여자들이 어떻게 실험 결과를 활용한 주장을 하고, 문제를 해결하는지 알아보기 위하여 논변활동을 분석하였다. 이를 기반으로 활발하고 풍부한 논변을 가능하게 하는 프로그램 구성 방안에 대해 확인하였다. 연구 자료는 수업 상황을 녹화, 녹음한 자료만을 이용하였다. 총 3차의 수업을 녹화와 녹음을 통해 기록하였고, 전사하였다. 전사본을 통해 수업 맥락에서 참여자들의 논변 양상을 주장 구성의 인식적 측면과 사회적 합의 관점이 드러날 수 있도록 분석하였고, 다양한 논변 분석의 개념적 도구를 이용하여 자료를 다각화했다.

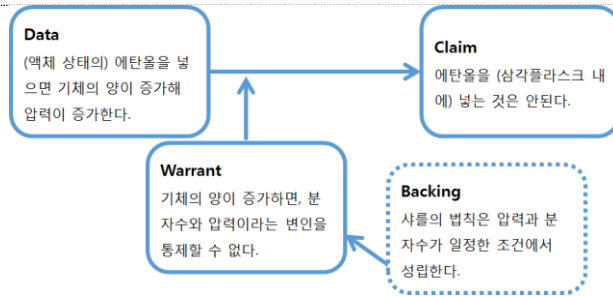
1차 분석은 Toulmin의 논증 틀 (Toulmin's Argumentation Pattern: TAP)을 분석 도구로 활용하였다. TAP은 논변 참여자의 발화를 툴민이 제시한 요소인 주장(Claim: C), 자료(Data: D), 보장(Warrant: W), 보강(Backing: B), 반박(Rebuttal: R)에 코딩하는 방법으로(Toulmin, 1958), 논변 담화를 분석할 때, 양적 요소를 배경으로 논변의 질을 평가할 수 있도록 한다(맹승호 등, 2013). Erduran 등(2004)과 Osborne 등(2004)이 사용한 논변 구조 프로파일을 기반으로 질적 평가가 가능한데, 다양한 요소를 사용한 주장일수록 질적으로 상위의 수준으로 평가할 수 있다. 즉, CDW(주장-자료-보장)의 논변 구성이 CD(주장-자료)의 구성보다 질적으로 더 높은 수준인 것으로 해석할 수 있다. 앞선 분석 도구에 Osborne 등(2004)의 연구에서 추가한 한정어(Qualifier: Q)를 코드로 포함하여, 아래 <표 IV-4>와 같은 형태로 도식화해서 분석하였다. 본 연구에서는 논변 구조 프로파일을 1요소, 2요소, 3요소 이상으로 분류했고, 3요소 이상을 사용하면 높은 수준의 주장 구성으로 평가하였다. 3

요소 이상이 사용되는 일반적인 경우는 자료를 이용해 주장을 뒷받침하기 때문이며, 이외의 전략을 활용하여 주장을 뒷받침하기 때문이다. 논변 구조 프로파일의 도식에서 점선으로 표현한 요소들은 참여자의 발화에 실제 드러나지는 않았지만, 현상에 대한 추론 과정에서 사용했을 것으로 기대하고, 연구자 간의 합의를 거쳐 임의로 추가한 것이다. 추가한 요소들은 분석 과정에서 연구자들이 자료를 분석하는 논의와 합의과정에서 참여자들의 논변 구조의 이해를 돕기 위하여 사용하였고, 본문의 연구 결과로 제시하지 않았다.

<표 IV-4> TAP을 이용한 논변 구조 프로파일 분석의 예시

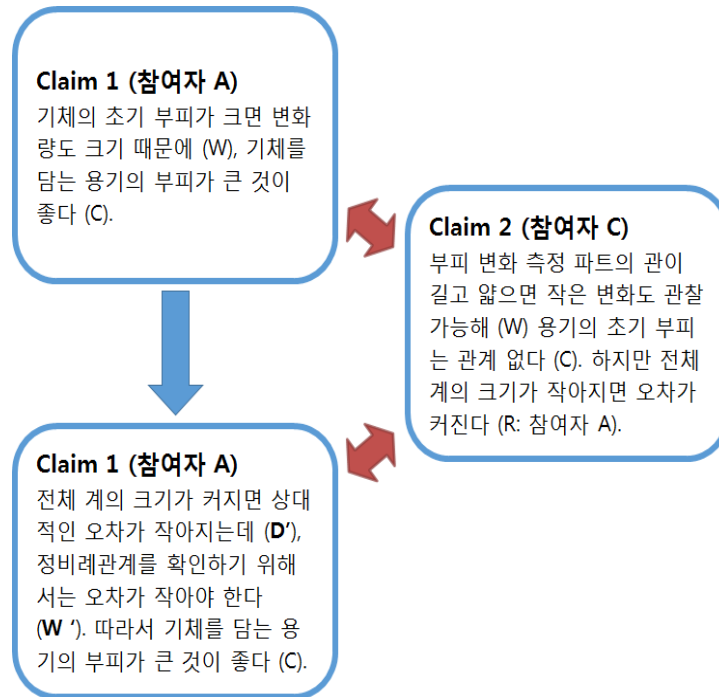


3요소 이상
(예: CDW)



논변 구조 프로파일 구성을 위하여, TAP의 요소 중 주장을 우선으로 발견하고, 발견한 주장을 기준으로 다른 요소들을 발견하였다. 실험 결과에 영향을 미치는 요인, 변인, 장치와 연관되는 단어를 핵심어로 선정하였고, 해당 단어가 포함된 참여자의 의견이 발화로 표현된 경우, 주장으로 분류하였다. 주장을 뒷받침 하는 요소는 자료, 보장, 보강의 세가지가 있는데, 이 중, 자료는 실험 결과와 관찰 사실과 관련된 단어가 포함된 발화로 분류하였다. 보장은 자료와 주장 사이의 관계를 연결, 설명하거나 추론구조를 정당화하기 위한 요소들로 정당화 진술, 가정, 과학적 지식 혹은 이론들의 요소를 포함하는 문장으로 분류하였다(Erduran *et al.*, 2004). 보강은 보장을 추가적으로 지지하기 위해 사용하는 이론, 과학 지식 등을 포함하며, 보강이 있을 때에만 있는 것으로 결정하고 분석하였다. 먼저 제기된 주장이나 주장을 구성하는 요소의 잘못된 지점을 지적하거나, 관계의 문제를 밝히는 발화는 반박으로 분류하였다. 반박의 유형에 대해 연구한 Verheij (2005)에 의하면 반박은 TAP 구성 요소에 대한 문제 제기 혹은 요소 간의 관계에 대한 문제 제기의 5가지 유형으로 나타날 수 있다. 본 연구에서는 이 유형들을 모두 반박 사례로 파악하고 발견하였다.

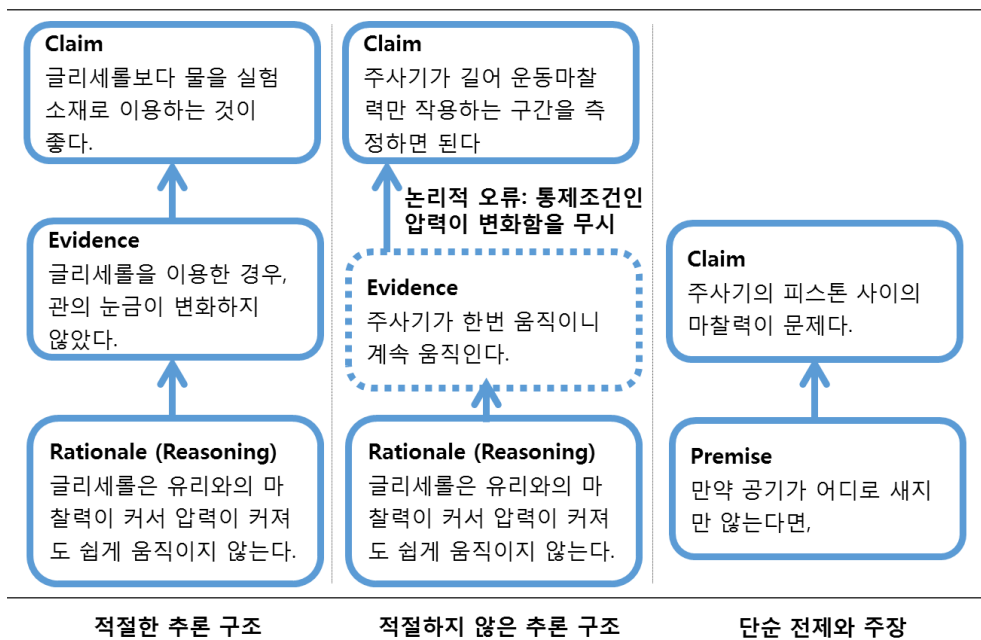
두 번째로, 담화의 연속성과 주장의 발전적 구성을 파악하기 위한 분석을 수행하였다. TAP을 이용한 분석은 주장의 주장 구성의 체계를 분석하기에는 용이하지만, 연속적이고 협력적으로 주장을 구성하는 협력적 활동이나 사회적 합의 과정을 확인하기 어렵다 (Kelly *et al.*, 1998; 맹승호 등, 2013). 따라서, 각 참여자가 제시한 논변 프로파일을 연속적으로 연결하는 이른 바, 담화의 연결 고리를 기술하였다 (Osborne *et al.*, 2004; Erduran *et al.*, 2004). 하나의 사안이나 주제에 대한 주장과 대립되는 주장을 제시하거나 반박이 일어나는 상황을 기준으로 파악하였다. 반대 주장이나 반박이 제기되어 주장 간 대립이 일어났을 때, 반대 입장의 참여자를 설득하기 위하여 이전에 제기한 자료, 보장, 보장과 다른 내용으로 구성된 주장의 뒷받침 요소를 사용하는 경우를 정교화로 정의하고(Erduran *et al.*, 2004), 담화의 연결 고리가 형성된 것으로 해석하였다. <그림 IV-3>을 통해 정교화 분석의 사례를 살펴보면, 샤를의 법칙 실험 설계 과정에서 부피 변화에 영향을 주는 요인인 초기의 기체 부피를 주장의 핵심어로 선정하였고, 논변 구조를 분석하였다. 참여자 C가 이 주장을 반박하는 반대 주장을 제시하자, 참여자 A는 자신의 주장을 소집단의 의견으로 결정하기 위하여 참여자 C의 주장 자체를 반박하면서 새로운 자료와 보장에 근거한 주장을 제시하였다. 즉, 참여자 C가 제기한 반박 내용에 대해 반론을 펼침으로써 자신의 주장을 뒷받침하고, 이전과 다른 뒷받침을 구성하여 더욱 정교한 주장을 제시한 것으로 분석하였다.



<그림 IV-3> 정교화 분석 예시

세 번째로, 참여자들이 제시한 주장과 추론의 논리적 타당성을 검토하기 위하여 Sampson & Blanchard(2012)가 제안한 CER(Claim-Evidence-Rationale)을 기준으로 분석했다. TAP의 경우에는 연구자가 각 요소의 논리적 타당성을 고려하지 않고 분류하기 때문에, 주장 구성의 논리적 측면을 검증하기에 어렵다(Clark & Sampson, 2008; 맹승호 등, 2013). 따라서 참여자들이 구성한 주장이 논리적으로 타당하게 전개되었는지 여부를 판단하며, 추론이 적절하지 않은 경우가 발생하는 문항을 발견하여 문항을 수정하는 것이 필요하다. Sampson & Blanchard(2012)가 제시한 분석은 주장, 증거와 추론 과정 간의 관계를 파악하고, 추론이 배제된 주장을 분류하기 위한 기준으로 활용하였다.

본 연구에서 분류한 기준은 3가지로 <그림 IV-4>에 제시한 바와 같이 추론 관계가 적절한 경우, 단순 상황의 전제만을 기반으로 하는 추론인 경우, 추론 과정의 오류가 있거나 추론이 없는 경우로 제시하였다. CER 분석 결과를 이용하여, 주장 구성을 위한 추론 과정에서 나타나는 문제들을 확인하고자 하였다.



<그림 IV-4> CER 틀을 이용한 분석의 예시

연구 결과의 타당성 확보를 위하여 논변에 대한 전문성과 이해를 갖춘 연구자들과 협력하여 분석하였다. 연구자가 먼저 전사본을 토대로 결과를 분석한 이후에, 연구의 맥락에 대해 이해하고 있는 동료 석사 과정 대학원생에게 설명하고 의견을 합의하였다. 두 연구자의 의견이 서로 다른 경우, 논의를 통해 결정하였다. 합의한 분석 결과에 대하여 논변 프로그램을 공동으로 개발한 과학교육 전문가 1인에게 설명하고 논변의 구성 요소와 사회적 합의 과정에 대한 연구 결과를 최종적으로 도출하였다. 연구자와 동료 연구자들 간의 검토와 합의를 거친 이후, 합의를 이끌어 낸 사례들 중 일부에 대해 논변에 대하여 전문성을 갖춘 과학교육 전문가 2인의 검토를 통해 검증하였다.

2. 연구 결과 및 논의

2.1 논변 양상 및 결과

참여자들의 논변 양상은 1차 프로그램과 2, 3차 프로그램에서 큰 차이가 나타났다. 1차 프로그램에 비해 이후의 프로그램에서 질적, 양적으로 향상된 논변 양상이 나타났다. 특히 열린 탐구의 형태에 가까웠던 1차 프로그램에서는 앞선 연구의 '실험 최적화 전략' 관점을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 최적의 해결책을 얻기 위해 최대한 다양한 요인을 고려하는 양상이 나타났다. 따라서 2차 프로그램부터는 논변활동에 집중할 수 있도록 수정하였다. 즉, 주장을 구성하고, 평가하며, 합의하기 위한 문제와 과제 유형과 내용 체계를 정교화하고, 문제에 따라 지원체

계를 구축하였다. 이 과정에서 논변 과제에 대한 세 가지 쟁점 사안을 확인하였다.

2.1.1 논변 구조 프로파일

TAP으로 분석한 논변 양상에 의하면 프로그램을 수정함에 따라 추론 구조가 복잡해지고, 논변 양상이 풍부해졌음을 확인할 수 있다. 논변 구조 프로파일과 정교화가 드러난 사례의 수를 통해, 프로그램이 수정을 거치는 동안 논변활동이 촉진되었다는 것을 확인할 수 있다. 주장을 제기하는 수가 증가하였으며, 논변의 구조를 1요소, 2요소, 3요소 이상으로 분류했을 때, 수정이 이루어짐에 따라 복잡한 구성을 하는 것으로 나타났다. 3개 요소 이상을 사용한 경우는 주로 CDW, 즉 주장-자료-보장의 구조로 구성한 경우가 많았다. CDW의 빈도의 증가는 자료와 주장을 연결하는 배경 요소인 보장의 사용 빈도의 증가를 의미한다. 이를 통해 논리적으로 주장을 구성하기 위한 시도가 나타났음을 간접적으로 예상할 수 있다.

<표 IV-5> TAP을 이용하여 분석한 논변 구조 프로파일

	1 요소	2 요소	3요소	4요소	5요소	합	정교화
1 차	2	—	5	—	—	7	1
2 차	—	4	13	2	—	19	5
3 차	—	5	9	2	3	19	9

정교화 사례는 각각 1회, 5회, 9회로 프로그램의 수정에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이를 통해 주장에 설득력을 신기 위하여 다양한 뒷받침을 사용하는 담화를 거쳤음을 간접적으로 파악할 수 있다. 이를 간접적으로 뒷받침하는 연구 결과는 2차 프로그램부터 참여자들이 반박을 사용하였다는 점이다. 반박은 논변 양상의 질적인 측면과 연관되어 있는데, 반박을 사용하는 것은 다른 참여자의 의견을 비판적으로 검토하고, 이를 통해 반대 주장을 제시하기 위함이다(Erduran *et al.*, 2004). 대립되는 주장이 제기됨에 따라, 자신이 제기한 주장의 설득을 위하여 추가적인 근거를 사용하여 뒷받침하고 추론하는 시도가 정교화로써 드러난다. 즉, 정교화 사례의 증가는 제시한 과제에 대한 주장이나 의견이 다양하게 나타나고, 상대방을 자신의 의견으로 설득하기 위한 시도가 이루어짐을 의미한다. 따라서 프로그램의 수정이 주장의 구성과 정당화 과정이라는 논변의 기본적인 측면에서 긍정적인 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

2.1.2 논변 구성의 논리적 측면

주장의 논리적 측면을 확인한 결과에 의하면 참여자들은 대부분의 주장을 제기할 때, 적절한 추론 구조를 이용한 것으로 나타났다. 이를 검증하기 위한 CER 분석 결과는 <표 IV-6>과 같다. 적절한 추론 구조를 구성하여 각각 3회, 14회, 16회의 주장을 제시한 것은 이를 뒷받침한다. 그리고 추론의 오류가 있는 경우가 그 다음으로 나타났으며, 단순한 전제와 주장으로 구성된 주장은 가장 적게 나타났다.

추론이 적절하지 않은 경우를 살펴보면, <문항 1>의 경우에 집중되어 있었고, <문항 2>와 <문항 3>의 경우에는 모두 적절한 추론 구조를 사

용한 것으로 나타났다. <문항 1>의 경우에는 관찰한 결과를 해석하고, 설명하는 과정이 열린 구조로 제시된 활동이었기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 또한 추론 과정의 오류가 나타난 사례들의 경우, 이는 TAP 요소에 비교하여 설명하면 자료와 주장 사이의 연결 관계에 오류가 있거나, 단순히 주장만 내세우는 경우에 해당했다. 비록 전체 주장의 수가 많지 않으며 참여자의 숫자가 적어 객관화 할 수는 없지만, 본 연구의 참여자인 교사들의 경우 비교적 적절한 추론을 통해 주장을 제시한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 논변활동을 촉진하기 위한 탐구의 주제로써 충분히 인지적으로 도전할 수 있는 수준의 소재를 활용한 것은 적절한 추론을 가능하게 하는 측면에서 효과적임을 알 수 있다.

다음의 내용을 통해 프로그램의 과제 수정을 구체적으로 살펴보고, 인식적, 사회적 활동에 어떠한 영향을 주었는지 살펴보고자 한다.

<표 IV-6> CER 분석을 이용한 추론의 타당성에 대한 분석 결과

추론의 수준	적절한 추론 구조	적절하지 않은 추론 구조	단순 전제와 주장
1차	3	2	2
2차	14	5	0
3차	16	2	1

2.2 논변 과제 개발의 쟁점

활발한 논변활동을 이끌기 위한 과제를 구성하는 과정에서 드러난 쟁점 사안은 세 가지이다. 각각 논변활동을 유도하기 위한 주제의 구조화, 인지 갈등 상황에서 의견 합의가 일어날 수 있는 과제의 형태, 실험 결과의 활용 방안이 그것이다. 본 절에서는 각 쟁점에 대하여 과제와 문제 제시의 수정에 따라 변화한 논변 양상의 사례를 통해 쟁점 사안들에 대해 논의하였다.

우선 주제의 구조화를 위하여 문항을 구체적으로 진술하는 방식으로 수정하였다. 두 번째로 의견 합의를 유도하기 위하여, 실험에 영향을 미치는 변인 중, 큰 영향을 줄 것으로 고려하는 순위를 결정하는 형태로 문항을 수정하였다. 마지막으로 실험 결과의 활용 방안을 살펴보기 위하여 POE 학습 모형의 예측과 설명 단계에서의 논변 특성을 확인하였다. 수정 효과는 TAP과 CER을 이용한 논변 양상의 분석 결과를 이용하여 확인하였다. 1차와 2차 프로그램의 구성에는 큰 변화가 있지만, 3차 프로그램은 핵심적인 수정보다는 세부적인 과제의 요소를 일부 수정한 경우이기 때문에 2차와 3차의 결과를 구분 없이 제시하였다. 각 수정에 대한 구체적인 내용과 논변활동과의 관련성은 각 쟁점 사안별로 핵심적인 사례를 통해 제시하고자 한다.

2.2.1 과제 특성: 논변 주제의 구조화

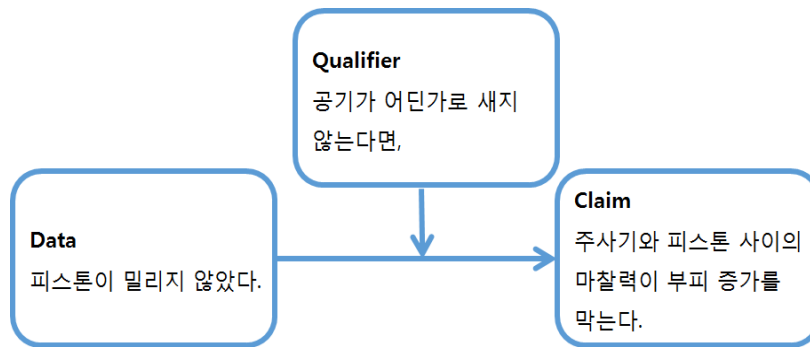
1차 프로그램의 진행에 대한 수업 관찰의 내용을 기반으로, 2차 프로그램에서는 제시하는 과제를 구체화하였다. 명시적으로 논변 담화의 주

제를 제시함으로써, 이론적 접근을 통한 추론과 논의를 달성하고자 하였다. 과제 문항의 발문을 수정하여 논변 주제를 한정하였고, 모든 문항에 수정을 적용하였다. <표 IV-7>에 제시한 사례는 문항 1의 수정 예시로, 1차 프로그램에서는 '요인'이라는 주제어로 제시하였다면, 2차 프로그램 이후부터는 '변인'을 주제어로 제시하여 한정하였다. 요인에는 변인, 도구, 실험 방법 및 과정의 다양한 범주의 내용이 포함될 수 있다. 다양한 요인 중, 변인으로 한정된 것은 조작 변인 혹은 통제 변인과 실험 결과와의 관계를 기반으로 사고하고 판단하도록 참여자들을 이끌 것이라는 연구자 간 합의에 의해 구성하였다.

<표 IV-7> 명시적 논변 주제 제시를 위한 과제 제시의 수정 예시

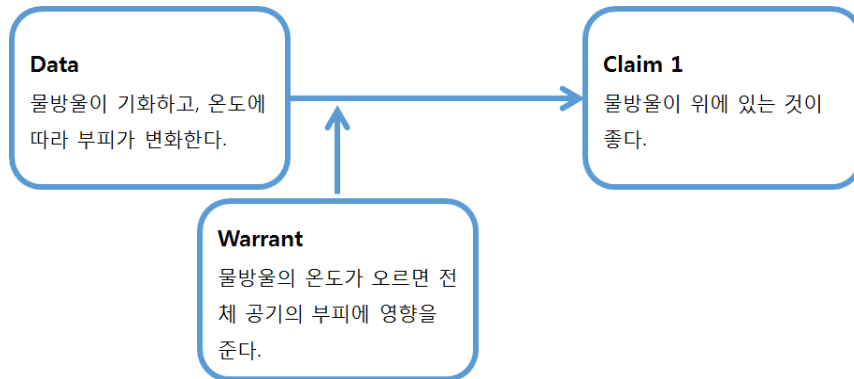
	1차 프로그램	2차 프로그램
문항 1	교과서 실험을 수행하고 결과를 분석 및 해석하여 오차가 발생했다면 어떤 요인이 있을지 논의해 보자. 또 실험의 문제점을 해결하고 더 나은 데이터를 얻을 수 있는 방법을 고안해 보자.	...(전략)... 원인은 무슨 변인이라고 생각하는가? 중요하다고 생각되는 원인부터 순서대로 작성하고, 문제의 원인을 해소할 수 있는 실험 방법을 고안해 보자.

구체적으로 명시적 과제를 제시한 결과를 검토하기 위해, 1차 프로그램에서 논의한 주제를 살펴보면, 실험에 영향을 미치는 요인으로, 변인을 포함하여 실험의 과정, 방법, 도구와 같은 실험 수행의 많은 요소가 논의의 대상이 되었다. 특히 기체의 부피에 대한 예상과 자료가 다른 경우, 쉽게 원인을 발견하고, 문제를 제기할 수 있는 도구에 대한 논의가 활발한 것을 확인할 수 있었다. <그림 IV-5>는 1차 프로그램의 <문항 1>을 진행하는 과정에서 제기된 주장의 구조이다. 공기가 썰 가능성이 크다는 의심을 담고 있는 이 주장을 계기로, 참여자들은 한정어에 언급되어 있는 도구의 결함을 지속적으로 의심한다. 실험 결과에 대해 예상할 수 있는 다른 요인들에 대한 고려도 가능했지만, 과학적 지식이나 원리에 근거한 논의를 지속하지 못하였다. 이는 실험 결과와 주장을 뒷받침하는 설명 모형 간의 추론 과정에서 주장을 뒷받침하기 위한 보장과 보강의 사용을 제한시킨다. 다시 말해 발견하는 문제점이나, 해결하고 싶은 사항이 너무 많아져, 관찰 결과를 뒷받침하는 사항들의 타당성을 근거로 주장을 검증하고 평가하고, 반성하는 인지적인 활동을 제한한다 (Kirschner *et al.*, 2006). 따라서 과학 지식과 내용을 더욱 적극적으로 사용할 수 있도록 수정할 필요성이 제기되었다.



<그림 IV-5> 1차 프로그램의 <문항 1> 과정에서 제기된 주장의 구조

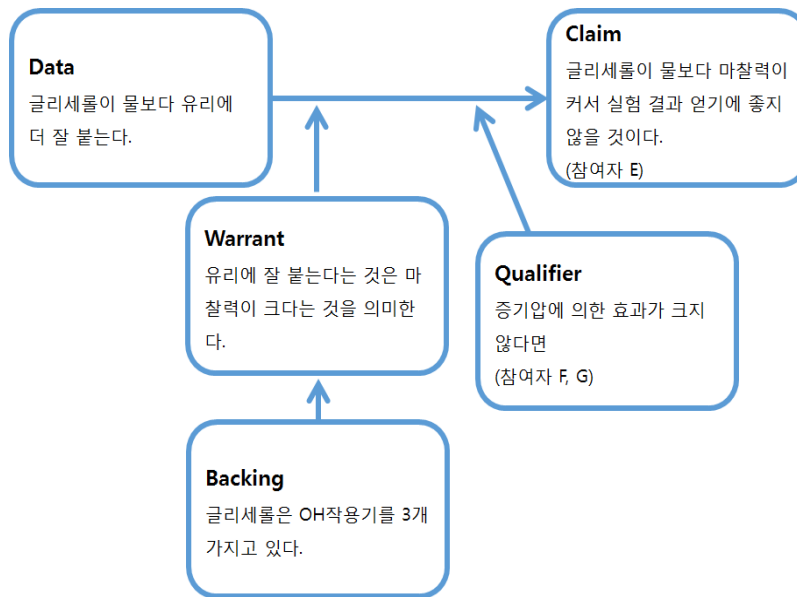
주제를 명시적으로 변인에 한정시킨 결과, 2차 프로그램에서는 도구나, 방법과 같은 요인을 논의의 주제로 삼는 경우가 줄어들고, 변인의 측면에서 확인하고 논의하는 것에 집중하였다. 이러한 경향은 수정이 이루어진 2차와 3차 프로그램의 결과에서 모두 확인할 수 있었다. 또한 자료와 주장을 연결함으로써, 추론 구조를 타당하게 구성하도록 돕는 보장을 적극적으로 활용하고, 과학적 원리나 관련 개념을 보장의 내용 요소로 사용하는 것을 확인하였다.



<그림 IV-6> 2차 프로그램의 <문항 3> 과정에서 제기된 주장의 구조

<그림 IV-6>은 대표적인 주장 구성 사례인 2차 프로그램의 <문항 3>에 해당하는 실험 설계 중 대립 상황의 논의 과정 중에 나타난 주장의 구조이다. 이 주장을 제기한 참여자는 샤를의 법칙 실험을 위하여 통제하는 변인에 해당하는 초기의 전체 기체 부피 양이 보장의 내용으로 포함되어 논리적인 구조를 완성하였다. 이 주장이 제기된 <문항 3>은 두 개의 실험 설계 방법 중, 더 효과적인 실험 방법을 선택함으로써 대립을 유도한 문항으로, 어떤 변인을 중요하게 생각하는지에 의해 입장이 결정된다. 따라서 이 주장을 제기한 참여자는 기체의 양 통제를 가장 중요하게 생각함을 알 수 있고, 자신의 주장이 기반하는 입장으로 설득하기 위하여, 일반적인 관찰 사실인 자료와 기체의 총량의 중요성을 뒷받침으로 사용하였다. 그러나 다른 참여자는 다른 입장에 해당하는 전체 기체의 온도를 더 중요한 통제 변인으로 고려해, 앞선 주장 이후에 반대 주장을 제기했고, 서로의 입장을 설득하기 위한 3회의 정교화가 일어났다. 따라서 변인을 주체어로 선정한 수정은 주장 구성을 위한 추론을 정교하게 이끌었다고 볼 수 있다.

마찬가지로 3차 프로그램에서도, 변인에 근거한 주장 구성을 찾아볼 수 있었다. 그리고 논변의 대상이 되는 변인의 수를 증가함으로써, 해당 변인에 대한 논의가 이루어짐을 확인할 수 있었다. <그림 IV-7>은 연구자가 새롭게 제시한 변인에 대해 참여자가 제기한 주장의 구조로, 다양한 구성 요소를 활용하여, 더욱 체계적으로 주장을 구성하였다. 새로 추가한 변인은 마찰력에 대한 것으로, 0에 가까운 수치로 통제하는 것이 좋은 변인이다. 마찰력 변인에 대하여 참여자들은 마찰력의 효과를 앞선 <문항 1>의 실험 결과에서 마찰력이 주요 변인이라는 것을 발견한 논의와 연결하였다. 이전 문항의 결과와 <문항 3>의 주장 구성을 위하여 사고하는 과정에서 현상과 지식을 연결하는 인식론적인 활동을 수행하였다. 위와 같은 다양한 논변구성요소를 사용한 주장의 논리적 구성과 정교화 사례를 통해, 변인을 주장의 핵심으로 구성하게 하는 전략은 논변활동의 질적 향상에 영향을 주었음을 확인할 수 있다.



<그림 IV-7> 3차 프로그램의 <문항 3> 과정에서 제기된 주장의 구조

2.2.2 과제 특성: 의견 합의의 유도 방안

1차 프로그램의 적용 결과를 기반으로, 다양성을 갖는 주장 간의 의견 합의를 촉진할 수 있도록 과제를 수정하였다. 1차 프로그램에서 사용한 문항들은 명시적으로 의견 합의를 제시하지 않았다면, 2차 프로그램에서는 <문항 1>에서 우선순위를 선정하는 형태로 수정하였다. 앞선 명시적 논변 주제와 마찬가지로 문항에서 구체적으로 합의할 것을 제시하고, 합의가 가능한 형태로 과제를 제시하였다. 따라서, <표 IV-8>에 제시한 바와 같이, 2차 프로그램부터는 변인의 중요도에 따라 순위를 매기며, 소집단 내에서도 동일하게 순위를 결정하도록 제시하였다. <문항 3>은 두 가지 입장으로 명확하게 구분되어 있는 문항이기 때문에, 명시적으로 의견을 합의하는 형태로 추가적인 수정을 취하지는 않았다.

<표 IV-8> 의견 합의의 명시적 지시를 위한 과제 제시의 수정 예시

	1차 프로그램	2차 프로그램
문항 1	교과서 실험을 수행하고 결과를 분석 및 해석하여 오차가 발생했다면 어떤 요인이 있을지 논의해 보자. 또 실험의 문제점을 해결하고 더 나은 데이터를 얻을 수 있는 방법을 고안해 보자.	...(전략)... 원인은 무슨 변인이라고 생각하는가? 중요하다고 생각되는 원인부터 순서대로 작성하고, 문제의 원인을 해소할 수 있는 실험 방법을 고안해 보자.

1차 프로그램에서는 의견 합의보다 실험의 결과를 분석하여 결정한 문제의 해결에 초점을 두고 '실험 최적화 전략'을 가지고 있음을 확인하였다. 논변 프로그램의 개발 원리로 탐구 실험 전략을 이용한 것은, 실험의 문제를 분석하고, 해결 방법을 도출하여 설계하는 과정에서 의견 합의를 통해 논변활동이 일어날 것으로 기대하였기 때문이다. 하지만, 참여자들은 제시된 문항에 따라 탐구 실험의 결과에 문제를 일으키는 원인을 해결해, 예상과 일치하는 결과를 얻기 위한 활동에 집중하였다. 따라서 문제 원인에 대해 의견을 모으고 전략적 순서를 지정하여 해결하기 이르기보다, 모든 문제를 종합적으로 해결하고자 하는 양상을 보였다. 즉, 문제 해결 방안 모색을 위한 의견 발산은 활발하게 일어나지만, 합의에 이르는 과정은 상대적으로 적게 나타났다. 아래 발췌문은 이를 확인할 수 있는 참여자 A의 발화이다.

참여자 A: 그런데 저희가 일반적으로 가설을 세우고 그거를 주장을 할 때는 이 상태에서 주사기만 바꾸고서 실제로 주사기가 문제였는지 확인을 해야 되는데, 지금 하는 거는 그 하나를 검증하는 게 목표가 아니고 어, 저, 실험 결과를 얻는 게 목적이니까 다양한 요소들을 전부 다 한꺼번에 다 해서 실험을 끝내야 할 것 같아요. 그리고 이제 그렇게 뭔가 교체 하거나 이 부분을 뭐 다른 걸로...

즉, 참여자들은 예상하거나 관찰한 모든 실험 상의 문제를 해결해 기계의 온도와 부피의 비례식을 얻는 과정에만 초점을 맞추었다. 다양한 요인들을 모두 해결한다면, 문제 해결은 성공적으로 이루어낼 수도 있으나, 어떤 요인이 가장 핵심적인 원인이 되는지, 그 이유는 무엇인지 등의 전략적이고, 이론과의 연계가 이루어질 수 있는 논의가 부족해질 수 있다. 더불어 실험 도구가 결과에 우연 오차를 일으키는 경우와 같이, 상황에 따라 다양하여 인과적인 추론이나 상호 관계를 분석하기 어렵다. 따라서 참여자들이 고려하는 요인들의 특성이 다양하고 다른 범주의 속성으로 묶을 수 있는 경우, 전략적 문제해결에 이르기 어렵고, 가장 중요한 요인을 찾는다면, 최적화된 전략을 모색하기 위해 평가와 반성을 수반하는 논변활동으로 이끌기에 어려움이 생긴다. 예를 들어 실험의 자료를 분석하는 과정에서 도구의 측면과 변인의 측면을 모두 고려하면, 두 측면의 속성이 다르기 때문에 쉽게 합의에 이르기 어렵다. 이를 통해 명시적으로 의견 합의를 유도하는 문항 구성이 필요하며, 구체적인 범주의 논변 주제를 이용하여 주장과 대안 주장 간의 논의가 가능한 구성이 필요함을 확인하였다.

참여자 C: 1번, 공기가 어디로 샌다. 2번, 주사기의 마찰력이 너무 크다. 3번, 나머지 한 가지가 뭘까, 3가지를 생각했는데 갑자기 한 가지가 생각이 안 나네.

1차 프로그램을 수행하는 과정에서 드러난 참여자들의 발산적 사고는 다양한 주장을 도출하고, 주장들 사이에서 동의와 반박과 같은 관계가 형성될 수 있는 가능성을 열어준다. 다양한 관점과 의견은 논변활동에서 필요한 요소이지만(Clark & Sampson, 2008; 이지영과 김희백, 2011), 합의를 위해서는 평가와 반성의 과정을 거쳐 의견을 수렴해야 한다. 따라서 3개의 문항 중 가장 다양한 의견을 제시할 수 있게 하는 <문항 1>을 '가장 중요한 요인을 결정하라.'의 형태로 수정하였다.

참여자 A	참여자 B	참여자 C	참여자 D
Claim : (CD)	Claim : (CD)	Claim : (CD)	Claim : (CD)
		Claim 1: (CDW)	
Claim 2: (CDW)	Claim 2: (CDW)		
		Claim 1*: (CD + CDW)	

의견 합의 실패

* : 정교화 사례

<그림 IV-8> 2차 프로그램 <문항 1>의 참여자 간 논변 양상 모식도

문항의 제시가 변화함에 따라 제기된 서로 다른 주장을 사이에서 나
 와 다른 관점의 주장을 반박하고 설득하려는 사례가 나타났다. <그림 IV
 -8>은 2차 프로그램의 <문항 1>의 활동에서 나타난 참여자 간 상호작
 용을 도식화한 것이다. 초기에 예상했던 것보다 기체의 부피 변화량이
 작다는 관찰에 근거하여 예상과 자료가 불일치한 상황에 놓였고, 기체의
 부피 변화가 예상보다 작은 이유를 분석한 C는 초기 기체의 양을 늘리
 는 방법을 해결 방안으로 제시하였다. C는 기체의 총 양을 늘리기 위하
 여 에탄올을 넣을 것을 제안하였으나, A와 B는 초기 기체의 양, 즉 기체
 의 입자수는 통제 변인이라는 근거를 들어 반박하였다. 이에 대해 C는
 주장의 설명력을 높이기 위하여 두 가지 근거를 더 제시하였으나, 본인
 의 주장으로 합의하는 것에 실패하였다. CER분석 결과에 의하면, C가 제
 기한 마지막 2개의 주장은 적절하지 않은 추론 구조로 구성된 주장으로,
 충분한 설득력이 없었다. 이러한 정교화 전략은 위의 사례와 같이 다른
 사람을 설득하기 위한 목표의 발화를 할 때, 자주 나타나는 것을 확인할
 수 있다. 아래 발췌문은 2차 프로그램에서 참여자 A가 제기한 정교화
 사례이다. 샤를의 법칙 확인을 위한 수정된 실험을 설계하는 문항에서
 초기 부피를 증가하자는 의견을 제시하였고, 처음 제시한 근거는 기체의
 부피 변화량의 증가, 정교화를 위해 제시한 근거는 오차의 감소이다. 반
 대 주장은 초기 부피는 그대로 두되, 측정 도구를 정밀하게 만들자는 의
 견으로, 각자 타당한 근거들이 제시된 상황이기 때문에, 설득력을 높이
 기 위해서는 다른 근거가 필요하였다. 이 맥락의 논의는 진행자가 시간
 상의 문제로 임의로 중단했으나 맥락상 참여자들 사이에 암묵적으로 합
 의한 것으로 파악하였다.

참여자 A: 그.. 뭐지? 그건 어떨까요? 이게 정말 정비례되는 데이터를 얻기에 요결로도 충분하면 상관없는데 규모가 작아지면 오차가 막 커지잖아요, 이게?

참여자 C: 그러니까..

참여자 A: 그래서 큰 것도 저는 그런 의미에서, 근데 요결로 했을 때 이게 그.. 비례 그래프가 잘 나오는지..

참여자 E	참여자 F	참여자 G	참여자 F
Claim : (CDW)	Claim : (CDW)	Claim : (CDW)	Claim : (CDW)
Claim 1 : (CDQ + CDWB)			
	Claim 2 : (CDW)	Claim 2* : (CDWB)	
Claim 1* : (CW)			
	Claim 2** : (CDWB)		
Claim 2 의견 합의			

* : 정교화 사례

<그림 IV-9> 3차 프로그램 <문항 1>의 참여자 간 논변 양상 모식도

3차 프로그램에서 역시 동일한 문항인 <문항 1>에서 주장 간 대립 상황과 다른 의견을 갖는 상대방을 설득하기 위한 정교화 사례들이 나타났다. <문항 1>의 논변 상황 모식도인 <그림 IV-9>에서 참여자 E, F, G 사이의 의견을 주고 받는 담화가 일어났다. 주장 1에 비해 주장 2에 더 많은 참여자가 지지하고 더 많은 근거를 제시함으로써 더 높은 설득력을 갖는다. 반면에 주장 1의 정교화된 주장은 추론의 오류가 있어 다른 참여자들에게 설득력을 갖지 못해 주장 2로 합의되었다. <문항 1>의 사례들을 통해 논변의 사회적 측면을 강화하기 위해서는 명시적으로 의견 합의를 유도하는 것이 필요함을 확인하였다. 이 때 대립되는 상황이 필요하며, 각 상황에 대한 해석이나 의견을 이루는 추론의 적절성 여부가 실질적으로 의견 합의에 영향을 주는 것을 확인하였다. 본 결과에서 살펴본 결과 중, 전반적으로 2차 프로그램에 비해 3차 프로그램의 참여자들이 보장이나 보장 같은 뒷받침 요소를 풍부하게 사용한 것은 3차의 참여자들이 앞선 연수프로그램을 통해 과학적 논변의 특성에 대해 학습을 했고, 연수 프로그램이라는 맥락 상 의식적으로 논변활동에 참여하고 있기 때문이라고 해석할 수 있다.

2.2.3 실험 결과의 활용과 의견 합의의 특성

본 연구에서는 탐구 실험 과정에서 논변활동이 일어나도록 구성하였으며, 그 핵심은 POE 학습 단계로 문제 해결을 진행하도록 한 것이다. 예측 단계에서는 기존에 가지고 있던 지식이나 경험에 근거하여 설명 모형을 만들고 실험 결과를 예측하여 주장한다면, 설명 단계에서는 실험적 결과를 해석하는 주장 간의 논변활동이 일어나도록 구성하였다. 따라서 설명 단계에서는 사전에 합의한 설명 모형과 자료를 비교하는 인식적인

활동이 일어나며, 둘 사이의 일치를 피하기 위한 협력적 모형 구성 작업이 진행된다(Berland & Reiser, 2009).

인식론적 활동을 진행하는 과정에서 실험 결과는 가장 핵심적이고 결정적인 근거로 사용되었다. 아래 <표 IV-9>의 발췌문은 앞서 논의되었던 2차 프로그램의 <문항 3>을 수행하는 과정에서 실험 결과를 얻기 전과 후에 참여자들이 나눈 논의 내용이다.

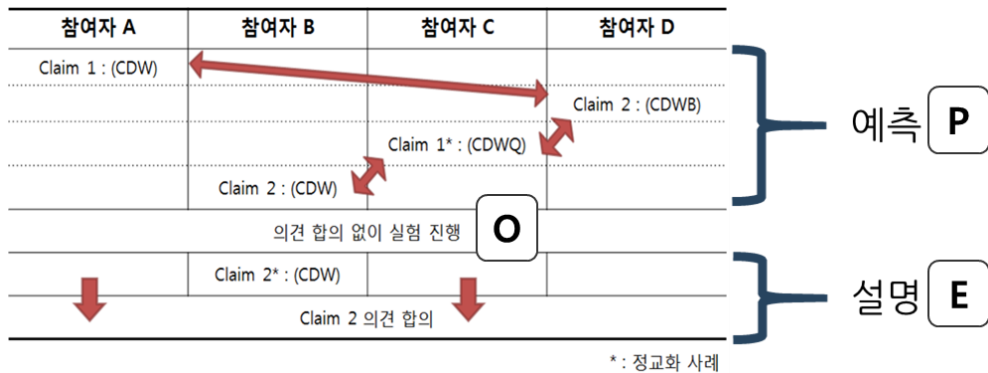
<표 IV-9> POE 단계에 따른 담화 양상

단계	참여자	발화
예측	B	사실 그 영향보다.. 이게 기체가 여기 담겨 있을 때 하고 바깥에 있을 때 하고 부피 그 차이가 훨씬 큰 거.. 그 영향이 훨씬 큰다고 생각이 되거든요.
	A	그것도 그렇지.
	B	용량의 차이가, 기체는 물에 담겨 있을 때 하고 여기 있을 때 하고 진짜 부피 차이 많이 나.. 밖에 나오면 기체 온도가 툭툭툭툭 떨어진단 말이야, 부피가 툭툭툭 떨어질 거라고.. 열용량도 물이 굉장히 클 거고, 그니까 위로 올라와서 이 부피 팽창에 의해서 부피가 굉장히 줄어드는 이 영향보다 애가 밖으로 나와 있어 가지고..
관찰		(실험 수행: 기체의 부피가 변하는 결과가 나타남)
설명	A	선생님 그럼 온도도 계속 변해요 지금?
	C	아니요, 온도는 안 변하는데 애는 내려가는 거지.

(중략)

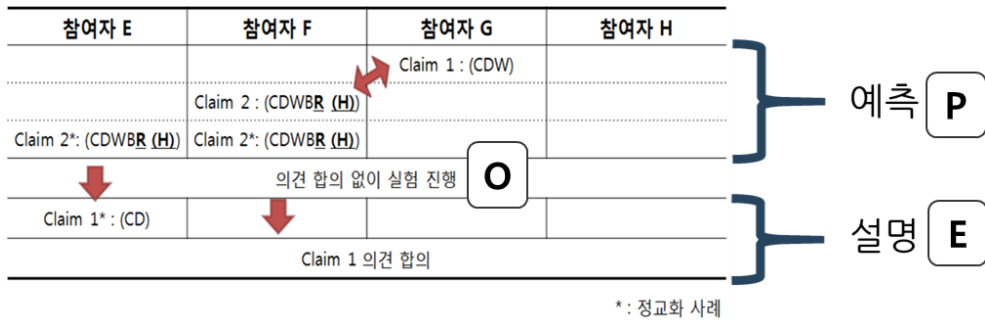
B 그게, 여기 온도는 물의 온도고, 물은.. (중략) 천천히
 식을 거고, 여기 위쪽은 더 빨리 급격히 식을 거니까,
 이렇게 내려오는 거라, 애가 이렇게 떨어지는 거는
 온도 때문에, 온도가 낮아져서 떨어지는 거지. 애가
 이렇게 서 있는 거는..

<문항 3>의 예측 단계를 진행하며 참여자 A와 C, 참여자 B, D는 서로 대립되는 의견을 갖고 있으며, 의견의 합의를 이루지 못하고 각각의 주장에 따른 실험 방법을 선택하여 실제 실험을 수행하였다. A와 C는 기체의 부피 확인용 물마개를 밖에 두는 것이 좋다는 합의를 내린 반면, B와 D는 물마개를 안에 두는 것이 좋다는 입장을 취했다. B와 D의 의견은 물마개가 밖에 있을 때, 위치 별 기체의 온도가 매우 크게 차이가 날 것이라는 근거를 이용하여 뒷받침되었고, 실험을 수행한 결과, B가 제기한 문제점이 드러났다. 이에 A과 C는 본인들이 처음에 제시했던 주장을 철회하고 반대 주장으로 의견을 바꾸었고, 최종 의견으로 합의되었다. 아래 <그림 IV-10>은 논변 상황을 도식화 한 것이다.



<그림 IV-10> 2차 프로그램 <문항 3>의 참여자 간 논변 양상 모식도

위와 같은 사례는 3차 프로그램의 같은 문항에서도 나타났다. <그림 IV-11>의 POE 단계에 따른 의견 합의의 양상을 살펴보면, 참여자 E, F와 참여자 G, H 사이의 주장이 서로 대립되며, 반대 주장의 어떠한 요소가 문제인지 지속적으로 반박하는 양상이었다. 반대 주장의 추론을 살핌으로써 논의가 지속되어 수준 높은 논변이 일어났다고 볼 수 있다. 하지만, 예측 단계에서는 의견 합의가 이루어지지 않은 상태로 종료되었다. 실험의 결과가 근거로 사용된 이후에야 주장 1로 의견이 합의됨을 알 수 있다.



<그림 IV-11> 3차 프로그램 <문항 3>의 참여자 간 논변 양상 모식도

이러한 결과는 POE 단계와 문항 특성의 관계에 기인한다고 볼 수 있다. <문항 1>에서 일어난 논변활동은 측정한 결과를 기반으로 문제를 분석하는 설명 단계에서 활발하게 이루어졌다면, <문항 3>의 두 사례는 예측 단계에서 활발한 논변활동이 이루어지고, 설명 단계에서는 쉽게 합의에 도달했다. <문항 1>에서 일어난 논변활동은 참여자들이 사전에 결정할 수 없는 결과가 논변활동의 기반이기 때문에, 참여자들이 다른 의견을 갖게 되고, 대립이 발생한다. 그렇기 때문에 <문항 1>의 경우 주어진 자료를 토대로 최선의 합의를 이끌어내야만 했으며, 가장 타당한 근거가 뒷받침된 주장으로 의견이 모아졌다고 볼 수 있다. 반대로 위의 두 사례는 결과를 관찰하기 이전에 충분히 대립되는 주장을 평가하고 반성할 수 있는 기회가 있었다. 이는 암묵적으로 참여자들이 실험 결과에 따라 합의할 것을 공유하도록 이끌었다. 즉, 예측 단계에서는 예측과 다른 근거와 결과가 나타날 여지가 있으므로 의견 합의 없이 관찰 단계로 진행해도 무리가 없음이 참여자들 간에 암묵적으로 공유되었다고 해석할 수 있다. 하지만, 앞선 <문항 1>과 마찬가지로 <문항 3>의 설명 단계에서 실험 결과에 대한 평가가 발전적으로 이루어지지 못했다는 한계가 있다.

3. 요약

본 연구에서는 과학적 논변을 활발하게 진행하기 위한 프로그램 개발의 쟁점 사안들을 확인하고, 문제와 과제 제시 방안에 대해 논의하였다. 이를 위해 샤를의 법칙 탐구실험을 활용한 논변 프로그램을 구성하여 현직 교사인 참여자들에게 적용하여 결과를 확인하였다. 논변 양상을 분석하여 문제와 과제가 실제 논변활동을 촉진할 수 있도록 돕는 적용 가능성을 높이고자 하였다. 개발 원리로 논변활동이 가능한 문제와 주제, 탐구 실험 전략, 지원 환경 조성을 선정하고, 적용이 가능한 세부 사항을 구성하여 프로그램에 적용하였다. 총 3개의 문항으로 구성된 논변 프로그램을 구성하였고, 각 문항은 인지적 갈등을 일으키거나, 대립 상황을 유도하는 것에 초점을 두고 제시하였다. 참여자들의 논변활동은 모두 녹음, 녹화하여 자료로 활용하였고, TAP과 CER을 개념적 도구로 활용하고, 정교화 전략을 파악하여 분석하였다.

참여자들의 논변 양상을 분석한 결과는 1차 프로그램과 2, 3차 프로그램 간의 차이가 있었다. 1차 프로그램과 2차 프로그램을 비교한 결과에 의하면, 주장의 빈도가 늘어났으며, 참여자들은 더 다양한 논변 요소를 사용하여 주장을 구성하였다. 특히, 보장과 보장을 뒷받침하는 요소를 사용하는 빈도가 증가한 결과는 논리적으로 주장을 뒷받침하고자 하는 시도가 나타났음을 간접적으로 드러낸다. 이러한 결과가 나타난 기반은 1차 프로그램과 2, 3차 프로그램에서 참여자들이 갖는 관점의 차이가 영향을 주었다고 추론할 수 있었다. 1차 프로그램에서는 기체의 온도에 따른 부피의 선형적 결과 자체에 초점을 둔 실험 최적화 관점을 갖고 있

었다고 평가할 수 있었다. 이에 수정한 프로그램과 과제의 구조는 참여자들에게 최적화된 결과를 얻기 위해 핵심적인 요인을 논의하는 것에 집중하는 관점 획득에 도움이 된 것으로 파악할 수 있었다. 한편, CER 분석에 의하면, 참여자들이 제기한 주장은 대부분 적절한 추론구조에 기반하였으나, 일부 주장은 추론이 적절하지 않은 경우가 있었고, 단순히 전제를 기반으로 제기된 주장도 제기되었음을 확인하였다. 이는 논변 프로그램에서 활용한 주제가 참여자들이 논의하기에 적합한 수준의 주제였음을 입증하는 증거로 볼 수 있었다.

위와 같은 연구 결과를 기반으로 논변을 어떻게 촉진할 수 있을 것인가에 초점을 두고 총 세 가지의 쟁점 사안들을 논의하였다. 논변활동을 촉진하기 위하여 명시적인 논변 주제의 제시, 의견 합의의 명시적 지시가 필요함을 확인하였다. 그리고 POE 학습 모형을 활용하여 탐구 실험 전략을 실현한 결과, 실험 결과에 대한 심도 있는 논의를 유도하는 방안이 필요함을 확인하였다. 명시적으로 논의의 주제를 자료와 이론을 평가하고 조정할 수 있도록 변인으로 제한함으로써 논변 구성 요소가 질적으로 향상되었음을 확인하였다. 그리고 의견 합의를 지시하는 문항의 형태를 제공함으로써 서로 대립되는 주장 간의 평가와 반성이 일어나고, 다른 입장에 있는 참여자를 설득하기 위해 정교화 전략을 사용하는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 POE 단계에 따른 특성을 살펴 보았을 때, 예측 단계에서 충분한 논의의 유무에 따라 설명 단계에서의 논변활동의 질이 결정되었다. 단계별 결과로부터 실험 자료나 결과에 대해 평가하여 지속적이고 발전적인 논의를 이끌 수 있는 방안이 필요함을 알 수 있다.

본 연구는 논변활동에 참여하기 위해 구성된 특별한 집단을 대상으로 수행한 연구로, 결과를 일반화하기에 한계가 있다. 또한 참여자들의 개

인적 배경에 대한 통제가 이루어지지 않았다는 결과 해석의 한계가 있다. 하지만 본 연구의 결과를 토대로 논변활동을 활발하고 풍부하게 지원할 수 있는 프로그램 개발 요소에 대해 논의한 것에서 의미를 찾을 수 있을 것이다. 이를 기반으로 문제 해결력 향상을 위한 논변활동의 활용 방안과 실제 수업에 적용하기 위한 전략을 제안할 수 있을 것이다. 다음 장의 연구를 통해 논변활동을 통해 과학탐구, 더 나아가 일상 맥락의 문제까지 고려한 문제 해결 프로그램을 제시하고, 그 결과를 확인하고자 한다.

V. 과학탐구와 디자인의 융합 프로그램 중의 문제 해결 과정과 논변활동 탐색

앞선 두 연구를 통해 과학적 문제 해결 능력 신장을 위한 프로그램 구성과 결과로부터 드러난 쟁점 사항에 대해 논의하였다. 이론과 증거에 대해 논의하고 평가할 수 있는 기회가 제공되어야 함을 확인하였고, 논변활동과의 연계가 필요함을 제안할 수 있었다. 논변활동을 촉진하기 위해서는 문제 상황 혹은 현상에 대해 다양한 관점에서 해석하고 판단할 수 있는 문제와 과제가 핵심적 역할을 수행한다. 이를 위해 명시적으로 담화의 주제를 제시하고 논의를 유도하는 것이 암묵적인 제안보다 풍부한 논의를 유도할 수 있고, 활발한 평가와 합의를 이끌기에 효과적임을 확인하였다. 과학탐구의 맥락에서 논변활동에 초점을 맞추기에 POE 학습 모형이 적합함을 확인하였다. 하지만 실험 결과로 대변되는 자료를 기반으로 지속적 논의를 이끌 수 있는 방안이 필요함을 확인하였다.

이러한 배경에서, 과학의 맥락 안에서 발견되는 문제의 해결이나 설명을 넘어, 일상적 맥락에서 나타나는 문제들을 해결할 수 있도록 확산할 수 있는 학습 모형을 제안하는 것이 본 연구의 목적이다. 학습을 구체적 맥락에서 진행하는 시도는 상황학습, 문제 기반 학습 등의 이름으로 강조되어 왔으며(Krajcik *et al.*, 1998; Kolodner *et al.*, 2003; Barsalou, 2008), 최근의 융합적 사고의 강조, 한국형 STEAM 교육은 이러한 흐름에서 강조되고 있다고 볼 수 있다(교육과학기술부, 2011; 김진수, 2007; 백윤수 등, 2011; 김성원 등, 2012; 손정우와 허민영, 2013). 과학 교육의 목표로 일상 생활의 문제 해결력 향상이 강조되는

바, 이러한 접근은 지향해야 하는 방향 중의 하나이다. 따라서 학습한 지식과 실생활에서의 적용의 괴리와(Brown *et al.*, 1989), 단순히 흥미 유발의 용도나 도구적 뒷받침의 형태로 사용하는 다 영역 간의 나열식 수업을 넘어(노상우와 안동순, 2012; 김정효와 교유이치로, 2013), 자신의 지식을 융합하고 적용하며, 타인과 조화롭게 소통할 수 있는 인재를 양성할 수 있는 학습을 위한 방안이 필요하다. 이러한 노력의 하나로, 과학, 기술의 영역이 융합한 협상 프로그램(Holmegaard *et al.*, 2013), 경제학과 융합한 과학 논변 프로그램(Erduran & Mugaloglu, 2013)이 제안되는 등, 논의를 중심으로 다 영역간 융합을 시도하는 프로그램들이 제안되고 있다.

본 연구에서 제안하는 ATA 모형은 과학과 디자인의 영역을 논변의 흐름에서 융합하였다. 두 영역의 융합과 체계적인 조직을 통해 학습자들이 통합적이고 논리적인 사고를 할 수 있도록 구성한 학습 모형이다. 디자인 활동과 과학의 융합은 상황학습의 실천적인 적용의 하나인 'Learning by Design' 모형을 통해 시도되었다(Kolodner *et al.*, 2003). 과학과 디자인의 진행 과정 간 유사점으로부터 시도된 이 모형은, 과학 학습의 효과와 기능과 능력의 신장이 가능함을 보고하고 있다. 다만 모형이 제시하는 과정이 학습의 맥락에 적용하기에 복잡하다는 어려움이 있으며, 이에 본 연구에서는 간략한 과정으로 구성한 모형을 제안하고자 하였다.

학습 맥락에 적용하기 용이한 과정으로 구성된 ATA 모형은, 앞선 연구의 결과를 토대로 주장의 구성과 합의를 통해 문제를 해결할 수 있도록 조직하였다. 특히 실험을 수행하는 도구적, 조작적 측면이 아닌, 인지적인 활동에 집중할 수 있도록, 문제 해결을 위한 추론 과정을 세분화

한 과정으로 제시하고, 의견 합의에 용이한 문항을 제공하였다. 또한 자료를 기반으로 이론과 비교하고 통합한 설명 모형을 구성할 수 있도록 돕는 학습 지원을 제공하였다. 적용의 사례로 부력과 수영복 디자인을 융합한 형태의 활동을 제시하고, 수업 사례를 통해 문제 해결과정을 분석하고, 교육적 함의를 제시하고자 한다.

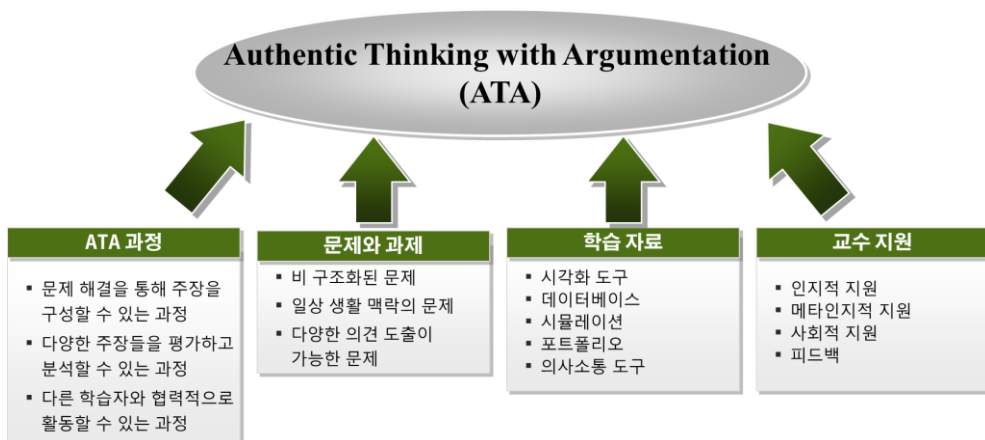
1. 연구 방법 및 절차

1.1 논변기반의 실질적 사고 촉진 모형(Authentic Thinking with Argumentation, ATA)의 구성

Authentic Thinking with Argumentation (이하 ATA)는 일상적인 맥락에서 발견할 수 있는 문제나 현상에 대해 예측하고, 추론하며, 평가하는 일련의 과정을 논변활동을 통해 달성하도록 구성한 학습 모형이다. 확장된 맥락에서 과학적으로 사고할 수 있도록 과학 탐구와 디자인 활동을 융합한 형태의 활동을 구성하였으며, 두 영역의 공통적인 특징이자 과정으로, 같은 집단의 참여자나 다른 영역의 전문가를 설득하고 공통된 의견을 도출하기 위해 합의하는 '논변'을 강조하였다. 즉, 이 두 영역은 모두 참여자가 논리적인 추론에 의한 주장을 제시하고, 타당한 증거와 근거를 이용하여 설득하거나 반박하는 과정을 통해 이루어진다. 또한 주장을 구성하거나 반박하는 과정에서 계획을 수립하고, 부족한 논리 체계를 검토하여 타당하도록 뒷받침하는 메타인지적인 사고를 요구하는 것도 두 영역의 공통점이다. 따라서 참여자들이 주장을 구성하는 인지적 활동

과, 주장을 제시하고 반박하는 사회적 활동, 자신의 주장을 반성하는 메타인지적 활동을 뒷받침하기 위한 형태로 ATA 모형을 구성하였다. 개발한 ATA 모형은 과학교육전문가 1인, 교육공학전문가 1인, 과학교육 연구자 1인의 검토를 거쳐 모형의 타당성을 검증하였다.

ATA 모형의 개발 원리는 총 4가지로 구성하였다. <그림 V-1>에 제시한 바와 같이, ATA 과정, 문제와 과제, 학습 자료, 교수 지원의 영역으로 개발 원리를 조직하였으며, 각 영역별로 하위 요소들을 구성하여 구체적인 교수학습 전략과 방법을 포함하였다. 개발 원리의 각 요소들이 논변활동을 촉진하고 지원하기 위해 어떻게 구성되는지 알아보고, 선행 연구들을 분석하여 구체적인 교수 학습 전략을 제시하였다.



<그림 V-1> ATA 모형의 개발 원리

1.1.1 ATA 과정

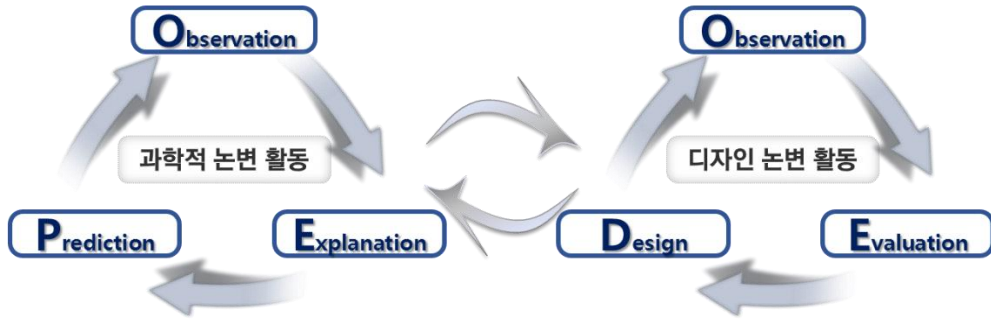
ATA 과정으로 명명한 학습 과정은 지속적으로 주장을 구성하고, 분석하여 평가하며, 동료와 합의하는 과정을 거쳐 문제를 해결할 수 있도록 구성하였다. 논변활동이 과학을 실질적으로 수행하기 위한 핵심으로 부각되는 것은 주장을 구성하고 평가하고, 합의하는 과정에서 이론과 증거를 지속적으로 비교하고 조정하기 때문이다. 이러한 단계들을 학습 과정으로 구현하였을 때, 학습자들이 실질적으로 사고하여 과학적으로 문제를 해결하고 적용할 수 있을 것으로 기대하였다.

문제 상황이나 현상에 대한 의견 혹은 주장을 제시하고 평가하는 과정은 논변활동의 핵심이다. 주장을 제기하고 평가하기 위해서는, 제시된 문제 상황이 다양한 의견을 도출할 수 있는 형태와 유형이어야 한다(Jiménez-Aleixandre & Pereiro-Munhoz, 2002). 다양한 의견 혹은 주장이 제기되었을 때, 참여자들이 증거와 이론을 기반으로 강점과 약점을 평가할 수 있다. 또한 자신의 주장의 타당성을 입증하기 위해 문제의 핵심이 무엇인지 판단하고, 관련되는 이론은 어떤 것인지, 어떤 증거가 주장을 뒷받침할 수 있는지 추론함으로써 과학적 사고 과정을 경험할 수 있다(Kelly *et al.*, 1998; Sandoval & Reiser, 2004).

ATA 모형은 다른 학습자 혹은 참여자와 협력적으로 의견을 구성하고 문제를 해결하는 과정을 구현하였다. 논변활동은 참여자들이 동등한 인식적 위계를 차지할 때, 활발하게 일어날 수 있는 환경이 마련된다(김희경과 송진웅, 2004). 동등한 지위의 참여자들끼리 자유롭게 의견을 제시하고 논리적으로 반박하는 경쟁의 관계 속에서, 논변 주장의 정교화가 일어나고, 발전적인 구성이 가능할 것이다(Nussbaum, 2008). 따라서

참여자들이 단순한 응답이나 반대로 발화를 마치는 것이 아니라, 의견에 대한 이유를 개진하고, 대안을 제시할 수 있도록 활동을 구성하였다. 이때 교사는 일방적인 지식의 전달, 단순한 응답을 위한 담화가 아니라, 주장을 향상시킬 수 있는 공동 연구자의 역할과, 집단 내 모든 참여자들이 동등하게 담화에 참여할 수 있도록 진행하는 역할을 수행해야 한다.

주장을 구성하고, 협력적으로 발전시킬 수 있는 과정을 실제 학습에 구현할 수 있도록, POE 학습 모형을 수정한 형태의 ATA 과정을 구성하였다. 특히 ATA 모형은 확장된 맥락에서 논변활동을 일어날 수 있도록, 과학 탐구와 디자인 활동의 순환적 구조로 과정을 조직하였다. <그림 V-2>에 제시한 POE(Prediction-Observation-Explanation)-DOE(Design-Observation-Evaluation) 순환 구조의 ATA 과정은, 학습자들이 과학의 문제와 디자인의 문제에 대하여 주장을 구성하고, 공유하며, 평가, 반성하는 일련의 과정을 경험할 수 있도록 구성되었다. 우선 POE 활동에서는 과학적 문제 상황의 예측 단계와 설명 단계에서 주장을 제기하고 합의에 이를 수 있도록 구성하였다. 과학적 맥락에서 설명할 수 있는 문제 상황이 제기되면, 학습자들은 자신의 경험이나 지식에 기반하여 현상의 결과를 예측하고, 논의에 참여한다. 이어진 관찰 단계에서 문제 상황으로 제시된 현상을 관찰하여, 설명 단계에서는 초기 주장과 증거를 비교하여 평가하고, 초기 주장의 수정 여부를 판단할 수 있도록 구성하였다(Osborne *et al.*, 2004).



<그림 V-2> POE-DOE의 순환구조로 구성된 ATA 과정

POE 활동과 유사한 형태로 진행되는 DOE 활동은 디자인 문제의 의견이자 주장인 산출물을 구성하는 과정에서 다른 참여자와 논의하여 디자인을 결정하게 된다. 결정된 디자인은 산출물로 제작되어 결정된 디자인 의도와 목표를 달성할 수 있는지 시범 적용을 받게 된다. 시범 적용의 결과가 디자인 의도와 목표를 달성하였는지 비교함으로써, 디자인을 평가하고 필요한 경우 순환적으로 DOE 활동을 진행하도록 하였다 (Kolodner *et al.*, 2003). 디자인 과정 중에 효과적인 디자인을 위해 제안하는 과학적 원리나 적용 방안이 제기된다면, 다시 과학적 접근을 통해 해당하는 개념을 학습하는 과정으로 연계함으로써 순환적 구조를 완성하였다. 제시한 ATA 과정은 다른 개발 원리와 연계하여 간단한 학습 과정 내에서, 주장을 구성하고 공유하며, 평가, 반성하는 과정을 포함해 인지적, 사회적, 메타인지적 사고를 경험할 수 있도록 조직하였다.

1.1.2 문제와 과제

ATA 모형에서는 논변활동을 촉진하기 위한 핵심으로 다양한 주장이 제기될 수 있는 문제의 사용을 강조하였다(김희경과 송진웅, 2004). 특히 본 연구에서 강조하고 있는 비구조화된 문제는 관점에 따라 다양한 주장들이 제기될 수 있기 때문에(Jonassen, 1997), 문제 해결과정에서 논변활동이 핵심적인 역할을 수행한다. 하나의 사안에 대한 의견이 경쟁적인 관계에 놓여있는 근거에 의해 반박되거나, 대안적 의견이 존재할 때, 논변이 활성화될 수 있다(Keogh & Naylor, 1999; Osborne *et al.*, 2004). 따라서 비구조화된 문제를 활용함으로써 학습자들이 의견을 제시하고 반박하는 과정에서 이론과 증거들을 비교하여 조정하기 적합할 것으로 기대하였다. 일반적으로 과학적 맥락의 논변 프로그램에서도 비구조화된 문제가 도입되는 사례가 있으며(Clark & Sampson, 2008; 신호심과 김현주, 2012), 기술 공학적인 맥락에서의 사용도 찾아볼 수 있다(Jonassen *et al.*, 2006; Jonassen & Cho, 2011; Schnittka & Bell, 2011). 한편 디자인 영역에서는 대부분 규정되어 있지 않은 문제를 다룬다(Buchanan, 1992; 박연실, 2005).

다양한 주장을 뒷받침하기 위하여, ATA 모형의 디자인 영역에서는 일상 생활과 관련되어 있는 문제를 활용하고자 한다. 우리가 일상 생활에서 접하는 대다수의 문제들은 비구조화된 문제이며, 논변의 주제를 파악하기에 적합하다. 따라서 학습자들이 자신의 경험이나 선지식을 활용하기에 용이하다. 즉, 해당 영역에 대한 전문적인 지식이 부족하더라도, 논변활동에 참여하는 것을 가능하게 돕고, 주장의 소유권을 학습자가 취할 수 있게 지원한다(김희경과 송진웅, 2004; Sadler & Fowler, 2006). 선행 연구에서 자주 접할 수 있는 일상 맥락의 소재들은 사회 과학적 이

슈를 다룬 경우이며, 윤리적 관점과 결합하여 판단하고 평가할 수 있는 문제의 유형이다(Jiménez-Aleixandre & Pereiro-Munhoz, 2002; Sadler & Donnelly, 2006). Mork(2005)의 연구에서는 지역의 특성이 담긴 지역 내 늑대의 숫자에 대한 주제를 활용해 학습자를 이해 당사자로 상정함으로써, 참여자들이 자신의 문제로 상황을 인지하도록 유도하는 하나의 방안을 보여주었다.

ATA 모형을 적용한 사례에서는 과학적 논변활동으로 부력과 관련된 과학적 현상을 문제 상황으로 제시하였다. 특히 실험적 증거를 얻을 수 있는 문제를 선정하였는데, 이는 이론과 증거를 비교하고 평가할 수 있는 다양한 지원을 위해서이다. 부력과 관련된 무게 측정의 상황은 참여자들의 인지갈등을 유도할 수 있는 현상을 제시하였다. 부력에 관련된 현상은 액체에서만 작용하는 것이 아니라, 주변이 기체인 상황에도 작용하지만(황선미와 정대홍, 2013), 부력의 원리에 대해 학습자들은 비과학적인 개념을 가지고 있는 경우가 많고(김이영과 김지나, 2012; 이수덕 등, 2012; 이재석과 이봉우, 2010), 주변 매질이 기체인 상태에서 부력의 작용에 대해서는 대다수의 학습자들이 이해하지 못한다. 본 사례에서는 황선미와 정대홍(2013)의 연구에서 제시한 물리 변화에서의 질량 보존의 법칙 확인 실험인 '드라이아이스를 풍선에 넣고 무게를 측정하는 상황'을 이용하였다. 질량 보존의 법칙을 확인하기 위한 실험이기 때문에 풍선의 부피가 커져도 무게는 일정해야 하지만, 부피가 커짐에 따라 부력이 작용함으로써 측정하는 무게는 작아진다.

위와 같은 맥락에서 참여자들은 예측 단계에서는 실험을 수행하기 이전에 예상되는 결과를 설명하면서 주장을 합의하도록 활동을 진행한다.

이러한 관찰 단계에서 무게가 감소하는 결과를 확인하면, 대부분의 학습자들은 자신의 초기 주장과 증거 사이에 불일치가 일어나며, 이를 해석하거나 뒷받침하기 위해 이론 혹은 증거의 조정을 거쳐야 한다. 자신만의 해석 방법을 얻게 되면, 이를 기반으로 설명단계에서 논변활동에 다시 한 번 참여한다 (그림 V-3). 한편 부력에 대한 정확한 이해를 기반으로 아래 현상을 설명할 수 있도록, 학습자들이 추론 가능한 수준에서 문제 상황을 추가로 제시하였다. 제시한 문제들은 각각 물 속에서 무게 측정 상황, 넘치는 용기에 추를 넣고 무게를 측정하는 상황에 대한 내용으로, 각 문제에 대한 구체적인 설명은 'ATA의 수업 적용'에서 설명하도록 한다.



<그림 V-3> 과학 탐구 기반 논변활동에서 사용하는 문제 상황과 POE 단계

ATA 모형의 디자인 논변활동에서는 '하반신 마비 장애인을 돕기 위한 보조 수영복 만들기'를 문제 상황으로 제시하였다. 이 문제는 실제로 서울에 소재한 대학의 대학생들이 해결한 문제로(한국일보, 2013), 일상생활의 맥락에서 접할 수 있는 문제로 학습자에게 제시하였다. 부력과 연관된 활동으로 제시된 수영복 제작 활동은 하반신이 가라앉아 띄워야 하는 상황에서 학습자들이 다양한 전제와 원리들을 이용하여 수영복을 디자인해야 하는 문제이다. 한편 실생활에서 비현실적인 형태의 수영복은 실효성이 떨어진다. 이러한 사항을 문항에 명시하여 이론적인 원리만 적용할 것이 아니라, 실현 가능성을 판단하며 구성할 수 있도록 유도하였으며, 전체 사용 가능한 금액을 제한함으로써, 더 일상 맥락에 근접한 문제를 구성하였다.

DOE 활동의 디자인 단계에서는 학습자들이 개별적으로 디자인에 포함되어야 하는 요소를 선정하고 초기 디자인을 구성한 후에 소집단의 디자인을 제시하도록 조직하였다. 소집단의 디자인을 구성하는 단계에서 학습자들은 각자의 디자인을 비교하고 평가하는 협력적 활동을 수행하고, 논변활동에 참여한다. 결정된 소집단 디자인을 시범 적용하기 위해 하반신이 가라앉는 모형에 수영복 천, 스티로폼, 우드락, 에어캡 등의 재료를 사용하여 시제품을 제작하고, 물에 넣어 결과를 관찰한다. 시범 적용의 결과를 바탕으로, 평가 단계에서 각 소집단이 초기에 제시했던 디자인의 목표와 기준에 부합하는지 분석하고 개선점을 도출해 낸다. 디자인 산출물 향상을 위해서는 새로운 디자인 아이디어를 제출하거나 재료를 바꿀 수 있으며, 만족할 때까지 새로운 DOE 활동을 진행하도록 과정을 구성하였다.

1.1.3 학습 자료

ATA 모형에서는 학습자들이 활용할 수 있는 다양한 학습 자료 혹은 자원의 제공을 중요한 개발 원리로 고려하였다. 학습자들은 전문가들과 마찬가지로 현상을 평가하고 이론과 증거를 일부 조절할 수 있다고 하지만(Samarapungavan, 1992, Karmiloff-Smith, 1988), 과학적 지식이 상대적으로 부족하며, 논변활동과 같은 사회적 활동에는 익숙하지 못하다(Brewer, 2008). 따라서 다양한 도구와 자료들을 이용해 논변활동을 지원하는 것이 필요하다.

일반적으로 논변활동을 지원하기 위해 사용하는 방법들은 다양하다. 논변의 인식적 활동의 측면을 돕기 위한 방안, 사회적 합의 과정을 지원하기 위한 방법들이 있으며, 정보통신기술(Information & Communication Technology, ICT)이 발달함에 따라 다양한 지원이 가능해졌다. 학습 자료로 쓰일 수 있는 도구와 자료는 시각화 도구, 데이터베이스, 시뮬레이션, 포트폴리오, 의사소통 도구 등 다양하게 제시하였다. 시각화 도구는 자신의 주장, 혹은 대안이나 반대 주장을 구분하여 작성할 수 있도록 돕는 도구이다(Osborne *et al.*, 2004; Nussbaum & Schraw, 2007). 특히 이론과 증거를 잘 구분하지 못하는 학습자들을 위해(Kuhn, 2004), 주장을 구성할 때, 증거와 이론, 주장을 구분하여 작성할 수 있는 도구로 활용이 가능하다. 또한 시각화 도구를 작성하는 과정에서 주장의 타당성을 검증해 더 수준 높은 주장 구성이 가능하도록 지원할 수 있으며, 정보를 통합하는 과정을 도울 수 있다(Osborne *et al.*, 2004; Suthers *et al.*, 2008).

주장의 타당성을 높이하고자 데이터베이스, 시뮬레이션, 포트폴리오 등의 자원을 활용하여 증거의 수집을 다각화하도록 지원할 수 있다. 데이

터베이스는 일반적인 과학 지식이나 정보에서부터, 문제 현상에 대한 실험적 증거(Kuhn & Katz, 2009), 예시 논변이나 문제 해결 사례(Kolodner, 1997; 윤선미와 김희백, 2011), 전문가의 의견이나 사례(Lawson, 2003), 등 다양하게 제시될 수 있다. 이러한 자료들은 주장을 풍부하게 뒷받침해 타당성을 높이거나, 반박의 근거로 사용할 수 있을 것이며, 문제 해결의 방법으로 적용될 수도 있을 것이다. 시뮬레이션 역시 데이터베이스의 일종으로 사용하거나, 시범 적용의 용도로 사용해 실험이나 적용 이전에 추론을 평가하고 결과를 분석할 수 있는 용도로 이용할 수 있다(Crawford & Cullin, 2004; Clark & Sampson, 2008). 수집한 자료나 증거들은 학습자들이 포트폴리오에 조직적으로 분류하여 보관함으로써 자신의 활동 과정과 자료를 평가할 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 더불어 자신의 주장 구성이나 변화 양상도 같이 보관함으로써 논변활동에 대해 반성적인 평가를 가능하게 해, 메타인지적인 활동을 지원할 수 있을 것이다(Land & Zembal-Saul, 2003).

의사소통 도구는 참여자들이 주장을 제기하고, 다른 대안을 평가하며, 자신의 주장을 반성적으로 검토하는 의사소통의 장으로써 필요하다. 쓰기 유형의 도구, 말하기 유형의 활동 등 다양한 접근을 통해 참여자들이 동등한 조건에서 담화와 협상에 참여하도록 이끌어야 한다(김희경과 송진웅, 2004; Park, 2010; 강은희 등, 2012). 이를 위해 공동의 글쓰기 작업(Scardamalia & Bereiter, 2006; 김희경과 송진웅, 2004), 게시판 활용(de Vries *et al.*, 2002) 등의 방법이 사용될 수 있다.

ATA 모형을 적용한 연구 사례에서는 앞선 논의에서 언급한 학습 자료들을 인지적, 메타인지적, 사회적 도구들로 구분하여 제시하였다. 인지적 자료에는 데이터베이스와 실험 지원을 포함하였다. 데이터베이스는

읽기 자료의 이름으로 제시하였는데, 부력과 관련된 현상이나 기구, 질량 보존의 법칙과 같은 과학 개념, 대학생들이 제작한 부력 보조 수영복 사례가 담긴 신문 기사를 이용함으로써, 증거로 활용하고, 문제 해결의 선행 사례로 검토하도록 하였다. 한편 실험 지원은 경험적인 증거를 획득하기 위해 필수적인 과정이다. 학습자들이 실제 실험을 수행하여 이론과 증거를 비교하고 주장을 구성하는 활동을 중심으로 구성하였고, 상황에 따라 녹화한 동영상도 이용하기도 하였다. 특히, ATA 모형은 인지적인 활동을 통해 능력을 신장하는 것에 초점을 맞추고 있다. 즉, 이론과 실험 증거 사이의 논의를 이끌기 위해 실험이 복잡하거나, 오차 요인이 너무 많은 경우 동영상 자료를 적극적으로 활용하였다. 동영상 자료는 실제로 실험을 수행한 결과를 보여줌으로써, 실제 획득한 자료임을 강조하였는데, <그림 V-4>는 물속에서 부력이 작용하는 상황에 대한 실험을 동영상을 이용하여 대체한 실험 지원이다. 본 연구에서는 전체 흐름에서 부력에 대해 많은 학생들이 비과학적 개념을 가지고 있는 현상인 황선미와 정대홍(2013)의 실험을 수행하도록 구성해 초기에 이론과 증거의 불일치를 유도했다.



<그림 V-4> 동영상을 활용한 물속에서의 부력 측정 실험 지원

한편, 학습자들이 문제를 해결하고 논변에 참여하는 과정을 학습 노트에 지속적으로 기록함으로써, 메타인지적인 평가와 반성을 경험하도록 프로그램을 구성하였다. 학습 노트에는 현상에 대한 초기 예측, 근거, 사례를 습득한 증거들을 기록할 수 있도록 제시함으로써, 주장을 정교하게 구성하고, 수정할 수 있도록 돕는 자료로 제공하였다. 또한 주장과 근거를 분리하여 작성하도록 문항을 제시하여 제한적이거나 주장을 시각화할 수 있도록 과제를 구성하였다.

사회적 합의 과정을 경험할 수 있도록 문제 해결 과정에서 소집단 내 의견 합의를 명시적으로 제시하였다. 학습자 개인별로 예측(Prediction) 단계에서는 제시된 현상에 대한 의견을 작성하고, 디자인(Design) 단계에서는 디자인 요소, 디자인을 결정하도록 구성하였다. 모든 소집단 내 학습자가 응답을 마친 이후, 소집단의 의견, 디자인을 공동 활동지에 작

성함으로써 쓰기 논변을 통해 의견 합의에 도달할 수 있도록 학습 자료를 활용하였다. 디자인 논변활동에서는 추가적으로 소집단이 최종적으로 고안한 디자인을 설명하고 홍보하기 위한 홍보문을 제작하는 쓰기 논변을 제시하여 집단 간 논의가 가능한 구성을 취했다. 구체적인 과정은 '연구의 맥락'에서 설명하고자 한다.

1.1.4 교수 지원

문제 해결과 논변활동의 경험이 부족할 수 밖에 없는 학습자들이 논리적으로 주장을 구성하고 성공적으로 문제를 해결하기 위해서는 교사의 도움이 필수적이다. 따라서 학습자들에게 다양한 영역에서 교수 지원을 제공하는 방안은 인지적 발판(scaffolding), 과제 제안의 방법(prompt), 피드백 등 다양하게 제시되고 있다(Davis & Linn, 2000; Quintana *et al.*, 2004; Osborne *et al.*, 2004). ATA 모형에서는 교수 지원의 방법들을 활용하여, 인지적 지원, 사회적 지원, 메타인지적 지원으로 구분하여 제공하고, 수업 상황에서의 피드백도 교수 지원의 중요한 요소로 구성하였다.

인지적인 지원은 제시된 상황에 대한 의견이나 주장을 구성하는 과정에서, 적절한 근거를 사용하고, 다른 대안들을 살펴 정교화된 주장을 구성하기 위해 교사가 돕는 것을 의미한다(Nussbaum & Schraw, 2007; Jonassen & Cho, 2011). 우선 주장과 증거를 연결하는 것을 어려워하거나 다른 대안들을 종합할 때 겪는 어려움을 줄이기 위해, 구체적인 사례를 제안할 수 있다(Wolfe *et al.*, 2009). 또한 주장이 왜 정당한지, 혹은 왜 정당하지 않은지 학습자들이 고려하도록 질문을 하거나 과제로 구성

하는 것이 해당할 수 있다(Osborne *et al.*, 2004). 특히 구체적인 맥락에서 이론과 증거를 연결하는 질문을 하고, 이후의 과정을 유도할 수 있는 연속적인 과제를 제안하는 것은 참여자들이 주장을 정교하게 구성하는데 도움을 줄 수 있다(Mork, 2005).

주장을 정교하게 구성하기 위해서는 지속적으로 주장의 구조를 되돌아보는 메타인지적 활동이 필요하다. 앞선 인지적 지원들을 제시할 때, 주장이 내포하고 있는 근거의 타당성을 검증하고, 타당하지 않은 요소들을 지속적으로 반성할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 주장에 대한 반성을 담은 과제를 쓰기 형태의 명시적인 활동으로 제시하고, 교사가 지속적으로 점검함으로써 학습자가 메타인지적 활동을 실제 할 수 있도록 ATA 모형에서 강조하였다.

사회적 지원은 모든 소집단 내 학습자가 동등하게 참여할 수 있도록 교사가 독려하는 지원이다. 소집단을 활동의 경우, 한 명에 의해서만 활동이 진행되거나, 다양한 의견들을 제시하지 못하는 참여자가 발생할 수 있다(강은희 등, 2012; 이신영 등, 2012). 소집단 활동에서 발생하는 사회적 장벽을 허물지 못하면, 반박, 반대 주장, 대안 등이 나타나기 어려울 수 있으며, 심도 깊은 논의를 달성하지 못할 가능성이 있다. 따라서 소집단 내 모든 참여자가 의견을 제시하고 평가할 수 있도록 발언의 기회를 참여자들에게 동등하게 부여하고, 다른 참여자의 의견을 들어볼 수 있도록 교사가 제안해야 한다(Garrison & Arbaugh, 2007; 이신영 등, 2012). 협력적 활동을 촉진하기 위한 다양한 방법 중 하나로, Weinberger & Fischer(2006)는 찬반의 역할을 지정하는 형태의 활동 구성을 제안하였으며, 그 효과를 검증하였다. 하지만 이러한 전략은 학습 목표나 내용에 따라 조심스럽게 사용할 필요가 있다. 따라서 ATA

모형에서는 찬성과 반대의 입장이 자연스럽게 나타날 수 있는 형태로 과제를 제시하였다. 특히, 부력이 작용하는 현상에 대해 무게가 변할 것인가, 혹은 변하지 않을 것인가에 대한 입장을 정하게 함으로써, 과학 탐구 논변 과정에서 자연스럽게 협력적 활동을 유도하고자 하였다.

1.2 ATA의 수업 적용

본 연구는 영재교육원에 참여하고 있는 중학교 3학년 학생들을 대상으로 이루어졌다. 영재교육원의 교육과정에서 과학 수업은 하루에 6시간씩 구성되어 있으며, 본 연구에서는 이틀에 걸쳐 총 12시간에 걸쳐 진행하였다. 첫 번째 수업을 마치고, 2주 후에 두 번째 수업을 진행하였다. 전체 프로그램의 진행은 <그림 V-5>의 단계로 구성하였고, 문제 상황의 제시와 과학 탐구를 1일차에 진행했고, 수영복 디자인과 전체 평가는 2일차에 진행했다. 1일차의 활동은 본 연구에서 사용한 주제와 과정에 대해 지속적으로 연구자와 협의한 박사과정의 중등학교 과학 교사가 진행하였다. 진행 교사는 사범대학에서 화학교육을 전공하였고, 화학 교사 자격증을 소유한 5년 이상의 경력 교사로, 동 영재교육원의 교사로 3년 동안 참여하였다. 연구자는 1일차에는 참여관찰자의 역할만을 수행했다. 2일차에는 연구자가 수업을 진행하면서 관찰하였다. 연구자는 3년 동안 영재교육원의 교사로 참여한 경험을 토대로, 탐구수업 진행에 대한 경험을 충분히 갖춘 상태에서 수업을 진행했다. 각 수업에는 동일한 보조 요원이 3명씩 참여했으며, 수업 이전에 연구자에게 충분한 설명을 전달받아, 맥락에 대해 이해하고 참여했다. 특히 교수 지원의 방법과 내용을 학습자에게 일정하게 전달하기 위해, 사전에 피드백 내용을 결정하였다.



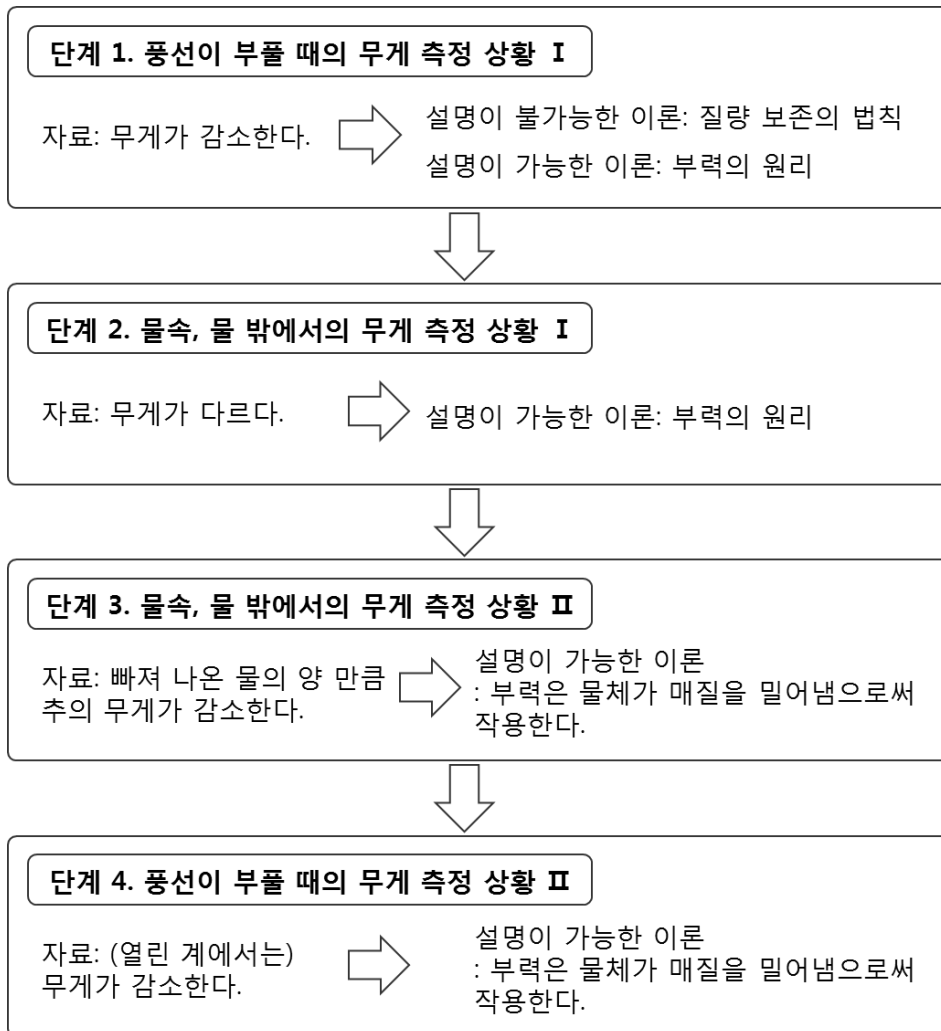
<그림 V-5> ATA 모형이 적용된 수업의 흐름

1일차에는 디자인 논변활동의 문제 상황인 '하반신 마비 장애인을 돕기 위한 보조 수영복 만들기'를 제시하고, 참여자 개인의 콘셉트 디자인을 기반으로 소집단의 초기 디자인을 구성하는 활동으로 시작하였다. 이어지는 과정인 과학 탐구는 4단계로 진행하였다. 과학 탐구 활동은 ‘풍선 안에 드라이아이스를 넣고 기체로 변할 때, 무게는 어떻게 될 것인가?’의 문제 상황으로 시작하였다. 본 실험은 상태 변화가 일어날 때, 질량은 일정하게 유지된다는 질량 보존의 법칙에 근거한 실험이기 때문에, 무게 측정값은 일정할 것으로 예상하기 쉽지만, 실제 측정 결과는 무게 측정값이 감소한다. 부력은 물체가 주변의 매질을 밀어냄으로써 생기는 현상으로, 풍선의 부피가 증가하면 초기에 저울 위에 있던 공기가 저울 옆으로 밀려남으로써 측정값이 감소하는 것이다(황선미와 정대홍, 2013). 부력은 물체가 매질 속에 있을 때, 원래 그 위치에 존재하던 매질을 옆으로 밀어냄으로써 받는 힘으로, 수평의 조건에서는 중력 반대방향으로 작용한다. 따라서 질량 보존의 법칙으로 현상을 설명하면 이론과

증거가 불일치하며, 부력으로 설명했을 때, 이론과 증거가 일치한다. 하지만 부력에 대해 중학생들이 과학적인 개념을 가지고 있는 경우가 적은 것을 가정하면, 학습자 입장에서는 이론으로 현상을 설명하기 어려운 상황에 도달하게 된다. 제시한 문제 상황을 해결하는 과정을 POE 단계로 구성하여, 개인의 의견을 제시하고, 소집단 의견으로 결정하며, 결과를 통해 증거와 주장을 비교하고 조정함으로써 가장 적절한 설명에 대해 합의하도록 구성했다.

첫 번째 현상에 대한 POE 단계를 통해 논변활동을 거친 이후에는 무게 측정과 관련된 다른 두 현상을 POE 단계의 일부가 적용되도록 구성하였다. 두 번째 문제는 물속과 물 밖에서 추의 무게를 비교하는 상황을 제시하였고, 마찬가지로 POE 단계를 통해 진행하였다. 대신 동영상 관찰을 통해 관찰을 대신하였다. 물속에서의 무게 측정 상황은 부력이 작용하는 대표적인 사례이기 때문에 참여자들이 가지고 있는 예상과 결과가 일치해 이론과 증거가 일치할 것이라는 예상에 따라 동영상 관찰로 대체하였다. 세 번째 문제는 가지 달린 삼각 플라스크의 가지 바로 아래까지 물을 넣고, 두 번째 상황과 동일하게 추를 넣는 상황으로 문제를 제시하였다. 세 번째 상황은 예측을 제외하고, 바로 동영상 관찰 이후에 설명 단계에서 개별 의견과 소집단 의견을 결정하도록 구성하였다. 이 실험 상황은 부력의 원리를 확인할 수 있는 상황으로, 밀려나간 물의 무게만큼 추의 무게가 감소하는 결과가 나타난다. 이 상황의 설명을 통해 첫 문제 상황인 풍선의 부피가 증가할 때, 무게가 감소하는 현상을 설명하면 이론으로부터 도출된 참여자들의 모형과 증거가 일치하는 결과에 도달할 수 있다. 마지막 단계는 풍선에 드라이아이스를 넣고 부피가 증가할 때도 무게 측정값이 변하지 않는 실험을 설계하도록 제시하였다.

무게 측정값이 변하지 않으려면 닫힌 공간에서 풍선이 부풀도록 설계해야 한다. 설계 방법을 구상하는 과정에서 예측하고, 소집단의 모형을 만들어내며, 실험을 수행하여 관찰 결과를 토대로 소집단의 설명을 합의하여 결정하는 과정으로 마지막 POE 단계를 수행하고 과학 탐구 단계를 마치도록 구성했다. <그림 V-6>는 과학 탐구 단계를 통해 부력의 개념이 어떻게 체계화되고, 풍선이 부풀 때 무게가 감소하는 현상의 문제를 해결할 수 있는지 보여준다. 물체의 측정 무게가 변화하는 현상에 위의 단계처럼 세분화한 것은 과학자의 추론 과정과 유사한 단계로 문제를 해결할 수 있도록 구성한 것이었다. 또한 이전 단계에서 획득한 자료를 이용하여 논의할 수 있도록 관련성 있는 실험과 활동으로 연계하여 조직하였다.



<그림 V-6> 부력 개념의 이해를 위한 구성한 문제 상황에 대한 실험 증거와 이론의 비교

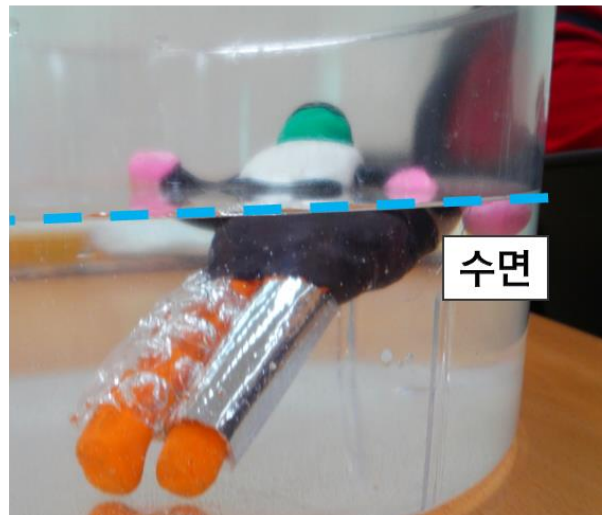
ATA 모형 적용 프로그램의 2일차에는 참여자들이 디자인 활동을 수행했다. 앞선 <그림 V-5>의 수영복 디자인과 전체 평가 활동을 진행했고, DOE 단계에 의해 수영복을 디자인을 제안하고 적용하여 평가, 수정

하도록 구성하였다. 참여자들이 디자인에 고려해야 하는 요인과 기준의 수립을 체계적으로 진행할 수 있도록, 첫 DOE 단계는 디자인 과정을 세분화하여 제시하였다. 즉, 필요성에 대해 논의하고, 필요한 요구를 달성할 수 있는 부력의 수치를 결정하며, 원리를 적용할 수 있는 재료를 선택하도록 활동을 세분화했다. 세분화 한 과정을 통해 문제를 해결함으로써, 전략적인 과정과 사고를 통해 문제를 해결하도록 구성하였다.

재료를 선택하고 디자인하는 과정에서 사용 가능한 금액을 일정 금액으로 제한하였다. 제한된 금액은 디자인의 기준에 경제적 측면을 선정하도록 제시하고, 일상 생활의 맥락을 부각시키는 방법이다. 실제로 제작할 수 있도록 에어캡, 스펀지, 우드락, 압축 PVC, 수영복 원단 2종, 실 등을 제공하였는데, 디자인에 사용할 재료를 제한된 금액 내에서 구입하도록 하여, 적은 재료를 이용해 최적화된 디자인을 구성하도록 하였다. 부력의 관점에서 생각하면, 적은 재료로 모형을 물에 띄우려면 최소한으로 필요한 부력의 크기를 결정해야 한다. 따라서 다양한 방법으로 필요한 부력을 구할 수 있을 것이라 기대하였다. 또한 금액 기준은 참여자들이 가지고 있는 다양한 요구와 기준 중에서 일부만 가능하도록 제한하기 때문에, 논의를 통해 달성하고자 하는 기준을 합의하는 활발한 의견 교환을 유도할 수 있을 것으로 예상했다.

관찰의 역할을 하는 시범 적용은 하반신이 가라앉는 모형에 설계한 수영복을 입히고, 물에 띄우는 활동을 통해 수행하도록 하였다. <그림 V-7>은 관찰 단계에서 사용한 모형을 물에 띄운 결과이다. 모형은 사전에 제작하여 참여자들에게 제공하였으며, 상반신의 재료보다 하반신의 재료의 밀도가 더 큰 것을 이용하여 하반신이 가라앉도록 설계했다. 이는 하반신이 부자유스러운 사람이 물속에서 일어날 수 있는 상황을 비유

하여 가시적 모형으로 제안한 것이다. 관찰 후에는 물에 띄운 결과와 참여자들이 소집단 내에서 구성한 기준에 근거하여 평가하고, 수정 혹은 개선이 필요한 요인들을 분석하는 활동을 진행하였다. 개선이 필요한 사항들을 참여자들이 각자 근거를 들어 작성하고, 모든 작성을 마친 이후에 소집단의 개선 사항을 논의를 통해 결정함으로써 논변활동을 유도하였다. 참여자들은 DOE 단계를 최소 2회 이상 수행하도록 지도하였으며, 따라서 2회 이상의 관찰과 수정을 거치면서 논변활동을 수행하였다.



<그림 V-7> 하반신 마비 장애인의 비유 모형을 물에 띄운 결과

모든 소집단의 디자인이 최종적으로 결정된 이후에 전체 평가를 위한 홍보용 포스터를 제작했다. 홍보용 포스터의 제작은 쓰기 논변활동의 하나로 제시하였는데, 판매를 위한 글쓰기를 함으로써 디자인에 대한 장점과 근거를 제시하는 설득하는 글쓰기를 수행할 수 있도록 한다. 또한 해결 전략, 구체적인 방법, 결과 등을 제시함으로써 문제 해결을 명시적으로 드러낼 수 있도록 돕는다. 각 소집단별로 작성한 홍보용 포스터에 대해 발표하도록 수업을 진행하였다. 발표 내용에 대하여 디자인과 기준, 전략 등을 평가할 수 있도록 동료 평가를 수행하였다. 동료 평가는 디자인의 타당성, 일상 생활의 적용 가능성, 창의성, 문제 해결 전략을 중심으로 평가할 수 있도록 사전에 기준을 제안하였으며, 총평을 통해 동의하거나 반대하는 의견을 제시할 수 있도록 활동지를 구성했다. 모든 소집단의 발표와 평가를 마친 이후에는 연구자가 수업을 정리하고, 디자인을 위해 고려해야 하는 기준들을 종합하는 간략한 전체 토의를 진행함으로써 수업을 마쳤다.

1.3 연구 참여자

본 연구에서 초점집단으로 선정한 영재교육원의 중학교 3학년 학생들은 총 4명으로, 연구가 진행된 2014년 2월에 영재원 과학 과정으로 선발되었다. 연구 참여자로 선정된 학생들은 모두 경기도 소재의 중학교에 재학중인 학생들로, 여학생 3명과 남학생 1명이었다. 1차시가 끝난 이후 연구자, 영재원 교사, 수업 보조 3인의 협의를 통해 이 참여자들을 선정하였다. 초점집단의 선정은 ATA 모형에 근거한 문제 해결 과정에서 모든 참여자가 담화에 활발하게 참여하는 것을 1차 기준으로 결정하였고,

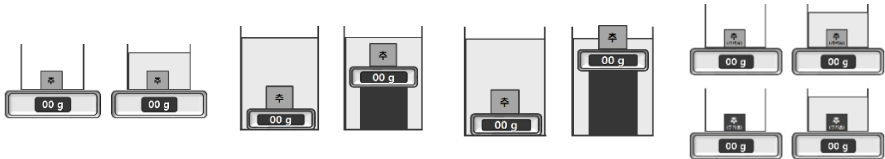
이 기준에 의해 2개 소집단을 결정하였다. 두 소집단 중, 상대적으로 더 다양한 의견과 근거를 도출했다는 연구진의 평가에 근거하여, 초점집단을 선정하였다. 선정한 소집단의 특징은 과제를 지켜워하지 않고, 논의 분위기를 해치지 않으며, 성적이 우수한 학생의 의견을 무조건적으로 따르지 않았다는 점이다. 선정한 초점집단에 있는 참여자들은 참여자 보호를 위해 A, B, C, D로 명명하였다. 이와는 별도로 초점집단의 문제 해결 과정과 비교하기 위해, 하나의 소집단을 추가로 분석하였다. 집단 간 상호작용의 양상이나 특성에 의한 논변활동, 문제 해결의 차이를 살펴보기 위해 선정하였다. 초점집단의 구성원과 비교하였을 때, 개인간 큰 차이는 없었으나, 상대적으로 의견 개진이 소극적인 학습자가 있다는 점이 집단 구성의 차이점이었다.

참여자들이 사전에 갖고 있는 부력에 대한 이해도를 알아보기 위해 부력의 원리에 대해 묻는 문항을 이용하여 검사하였다. 2009 개정 교육과정(교육과학기술부, 2011)에 의하면, 연구 참여자인 중학교 3학년 학생들은 '힘과 운동' 영역에서 부력이라는 용어를 처음 접한다. 따라서 부력의 원리에 대해 과학적이지 않은 개념을 가지고 있을 수 있다. 이를 검사하기 위해 김이영과 김지나(2012)가 사용한 부력 개념에 대한 검사지 중, 부력의 존재에 대한 이해와 부력의 크기에 영향을 주는 요인에 대한 이해를 묻는 문항으로 총 4개를 선정하여 사용하였다. 문항은 모두 서로 다른 두 상황에 있는 물체의 무게 측정값에 대해 묻는 문항으로, 부력, 주변 매질의 종류, 매질 속에서의 위치, 물체의 부피에 따른 무게 측정값을 비교하는 상황으로 구성되었다. 선정한 문항은 초등교사 1인, 과학교사 1인, 과학교육전문가 2인의 검토를 거친 후 사용하였다.

물 속에서 부력이 작용함에 대해서는 4인의 참여자가 모두 알고 있었

으나, 부력의 크기에 영향을 미치는 요인에 대해서는 2인의 참여자가 일부 비과학적인 개념을 갖고 있거나, 답을 하지 못했다. 참여자 A는 부력의 작용에 대해서는 알고 있으나, 문항 3인 물 밖으로 추가 물 밖으로 벗어나 주변 매질이 다른 경우와, 문항 4의 물체의 무게가 다른 경우에는 측정값의 비교를 하지 못했다. 두 문항에 답하지 못하였다는 것은, 부력의 크기에 주변 매질의 종류는 영향을 끼치지만, 물체 자체의 무게는 영향을 주지 않음에 대해 정확한 이해를 하지 못하는 것이다. 한편, 참여자 D는 매질 속 위치에 대해 수면부터 누르는 물의 영향에 의해 바닥에 있는 물체가 무게 측정값이 크다고 응답했으며, 물체의 무게가 가벼우면 부력이 크게 작용한다는 비과학적인 개념을 가지고 있었다. 이외의 다른 참여자들은 제시한 문항에 대해 옳은 답을 선택했으며, 과학적으로 타당한 이유로 이를 뒷받침했다. 사전 문항을 이용한 검사를 통해 참여자들이 가지고 있는 부력에 대한 개념을 정확하게 파악하기엔 무리가 있지만, 과학적 개념과 비과학적 개념이 혼재되어 있는 상태로 파악할 수 있었다.

<표 V-1> 부력에 대해 참여자들이 가지고 있는 선개념 검사 결과

문항 1 (부력의 존재)	문항 2 (매질 속 위치)	문항 3 (매질의 종류)	문항 4 (물체의 무게)
			
A 물 속이 작다	같다	미응답	미응답
B 물 속이 작다	같다	물 속이 작다	같다
C 물 속이 작다	같다	물 속이 작다	같다
D 물 속이 작다	1/3이 크다	물 속이 작다	무거운 추가 (변화가) 작다

한편 물에 뜨고 가라앉는 현상은 부력뿐만 아니라, 밀도를 이용해서 설명할 수 있다. 하지만 현행 교육과정에서 밀도는 중학교 3학년 이전에는 명시적인 단원으로 제시되어 있지 않고, 중학교 3학년에 도입된다(이수덕 등, 2012). 따라서 참여자들이 가지고 있는 밀도에 대한 개념은 일상적인 생활에서 사용하는 용어의 의미 정도로 가지고 있을 것으로 예측하고, 문항을 통해 평가하지 않았다.

1.4 자료 수집 및 분석

본 연구에서는 일상 생활 맥락 문제의 해결 전략을 알아보기 위해, 학습자들이 융합 논변 프로그램에 중에 부력이 작용하는 현상을 설명하는 담화와 학습한 개념을 수영복 설계에 적용하는 과정에서 드러내는 소집단 내 담화 양상과 학습 결과물에 초점을 두고 자료를 수집, 분석하였다. 연구 자료는 참여자들이 작성한 활동지, 디자인 영역의 최종 산출물로 작성한 포스터, 수업의 촬영 및 녹음 자료를 통해 얻었다. 참여자들이 작성한 활동지는 개별용과 소집단용의 두 가지로, 각자의 의견이나 주장은 개별용에 작성을 하고, 집단의 의견과 주장은 소집단용에 작성하였다. 두 활동지의 양식과 내용은 같았다. 수업 촬영 및 녹음은 소집단의 논의 양상이나 특징적 담화, 행동을 알아보기 위해 실행하였다. 수업 촬영본에 대해서는 모두 전사본으로 기록하였으며, 초점집단에 대해서만 상세하게 분석하였다. 전사본에 참여자들은 앞서 언급한 기호로 표기하고, 교사 및 수업 보조는 T로 표기하였다. 참여자들은 사전에 수업 촬영의 경험이 있지 않았으나, 녹음기나 카메라를 의식하는 행동은 거의 하지 않았다. 따라서 수업의 촬영이 참여자들의 활동이나 논의를 제한하거나 위축시키지 않는 것으로 판단하고 분석하였다.

분석의 순서는 참여자들이 작성한 활동지와 포스터를 우선으로 하였고, 이후에 녹화 자료 분석의 순으로 진행하였다. 활동지와 포스터는 쓰기 논변의 형태로 현상에 대한 설명 모형을 정리한 이후에 작성하는 것이 일반적이라고 판단하여, 문제 상황에 대한 최종적인 의견이나 중간 결정 단계의 의견으로 분석하였다. 특히 쓰기 자료들을 기반으로 참여자들의 이해와 추론의 맥락을 파악하고자 하였다. 더불어 참여자들은 그림을 이용하여 자신의 주장을 표현하거나, 근거를 드러내기도 하였다. 현

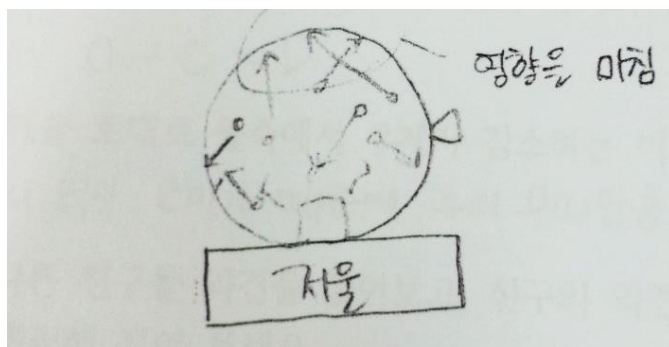
상에 대한 설명 모형으로 사용한 그림 자료들은 참여자들의 추론 구조와 사용한 개념들을 드러내는 중요한 자료로 판단하였다. 그리고 녹화 자료는 정리된 설명 모형이나 의견이 구성되어 가는 과정을 보여주는 자료로 판단하였다. 따라서 담화 내용에 근거해 참여자들의 주장이나 증거, 주장의 구조의 변화를 연속적으로 드러내는 자료로 사용하였다. 녹화 자료의 전사본은 앞선 쓰기 자료에서 확인한 참여자들의 추론 맥락을 지속적으로 고려하면서 읽었으며, 쓰기 자료와 차이가 있는 경우에는 정확하게 이해가 되거나 설득되지 않은 상태에서 집단의 의견을 단순히 따라서 작성한 것은 아닌지 동료 연구자와 논의하여 이해 여부를 결정하였다.

분석 결과의 타당성을 높이기 위하여 모든 연구 자료는 과학교육 석사 과정의 교사 1인과 공동으로 분석하였다. 공동으로 분석한 연구자는 ATA 모형의 적용 프로그램 개발 과정과 맥락에 대해 충분히 이해하고 있었으며, 논변활동 담화 분석 경험이 있어 타당한 분석을 도출할 수 있었다. 분석에 앞서 연구자가 동료 연구자에게 분석 도구에 대하여 상세한 설명과 예시를 전달하고, 방법을 설명하였다. 두 연구자는 개별적으로 자료들을 모두 읽으면서 분석하였고, 개별 분석을 마친 이후에 모든 항목에 대해 일치하는지 확인하며, 일치하지 않는 사항들은 의견을 주고받으며 합의해 최종 분석 결과를 도출하였다.

쓰기 논변 자료는 Sampson & Blanchard(2012)가 사용한 CER 분석틀에 근거하여 주장과 근거로 구분하였고, 근거에 대해 이론, 자료, 경험의 코드를 부여하였다. 이론과 자료는 Duschl(2003)이 사용한 증거-설명 연속선에 근거하여 결정한 코드이다. 이론은 주로 주장의 근거 중 사용한 설명 모형에 담겨 있으며, POE 과정 중, 예측 단계에서의 근거는 대부분 이론에 기인했다. 자료는 관찰 단계에서 획득한 경험적 자료나

관찰 사실이 포함된다. 경험은 분석 과정에서 참여자들이 자신의 일상생활의 예를 들어 설명하는 사례들이 발견되어 이후에 추가한 코드로, 주로 물속에서 무게를 측정하는 상황에서 자신의 경험을 근거로 사용했다.

담화 분석의 예를 들면, '풍선이 부풀어도 안의 물질의 분자는 변하지 않기 때문에 무게는 같다.'라는 참여자의 응답의 분석은 '풍선이 부풀어도 무게는 같다.'가 주장이며, '풍선 안의 물질의 분자는 변하지 않는다.'를 근거로 분석하였다. 이 사례의 경우 근거의 코드는 이론으로 부여하였다. 참여자들이 그림으로 설명한 아래 <그림 V-8>의 경우, 풍선이 부풀 때 무게가 감소하는 현상을 설명하기 위하여 공기 분자가 저울이 위치한 방향이 아닌 다른 방향으로 이동하는 것을 근거로 사용했다. 위와 같은 경우에는 주장을 '풍선이 부풀 때, 무게가 감소한다.'로 분석하고, 근거는 '공기 분자들이 다른 방향으로 이동한다.'로 결정하였다. 두 가지 종류의 근거는 모두 이론으로 코드를 부여하였다. 분석한 결과를 통해 제시한 현상이나 디자인에 대한 설명 모형을 확인하였다.



<그림 V-8> 풍선의 무게가 감소하는 현상을 설명하기 위해 사용한 그림 모형의 사례

참여자들의 구체적인 논변 양상은 협력적 활동의 관점에서 분석하기 위해, 주장의 구성 요소에 담화의 분석 기준을 더하여 코드를 부여하였다. 코드는 논변활동의 의미가 있는 발화에만 부여하였으며, 수업 내용과 무관한 주제의 담화는 분석에서 제외하였다. 분석의 기준은 Clark & Sampson(2008)이 사용한 담화 분석틀을 이용하였다. 담화 분석의 코드는 주장, 근거와 함께 반대주장, 반박, 동의, 정교화, 명료화, 의사진행, 기타로 결정하고 분석하였다. 반박은 주장이나 근거 자체를 반박하는 요소 반박과 둘 사이의 관계의 논리적 오류를 짚어내는 관계 반박으로 구분하였다(Verheij, 2005). 정교화는 주장을 뒷받침하기 위해 다른 근거를 사용하여 타당성을 높인 경우이며(Erduran *et al.*, 2004), 명료화는 동일한 근거나 주장을 새로운 표현으로 반복하는 발화에 해당한다. 다른 사람의 의견을 묻거나, 정확하게 확인하고자 하는 발화는 의사진행으로 명명하였다. 본 연구의 목표는 담화의 언어적 구조를 확인하는 것이 아니고, 상호작용에 의한 공동의 문제 해결에 초점을 맞추었기 때문에, 참여자의 1회 발화를 하나의 목적으로 해석하고 분석하였다. 이러한 분석은 다양한 연구에서도 사용한 바 있다(Kelly *et al.*, 1998; Erduran *et al.*, 2004; Sadler & Donnelly, 2006). 하지만 발화 도중, 명백하게 다른 목표를 가진 발화를 하는 경우에는 의미 단위에 따라 분절하여 의미를 파악하였다. 이러한 선행연구들의 분석 기준을 바탕으로 참여자들의 발화에 대해 아래 <표 V-2>와 같이 분석하였다.

<표 V-2> 담화 요소에 따른 분석의 예

발화자	발화	담화 요소
S1	안 바뀔 것 같지 않아?	주장1
S2	너는 어떻게 생각해?	의사진행
S3, S4	변하지 않을 것이다.	동의-주장1
S1	왜?	의사진행
	그 이유? 상태는 변해도, 물질의 분자는 그대로 잖아.	근거1-이론
S2	우리 다 변하지 않을 거라구 생각했잖아. (S2에게) 그 이유가 뭐야?	의사진행
S3	음.. 이산화탄소가 빠져나오지 않았으니까?	근거2-이 론: 정교화
S4	질량이 변할 이유가 없잖아. 분자수가 빠져나간 것도 아니구.	동의-근거2
S1	상태변화를 한다 해도, 입자나 분자의 크기가 달라지지 않으니까. 배열은 달라지겠지.	명료화-근 거 1,2
S2	상태변화를 했어도 분자의 수는 달라지지 않기 때문이다.. 확실한 건 아니니까 때문이라고 생 각했다 라고 적어야겠다.	의사진행

마지막 단계로 분석한 설명 모형, 디자인, 담화 양상을 종합해 문제 해결 양상을 수업의 흐름에 따라 정리하였다. 소집단이 비구조화된 문제에 대해 논변활동을 거쳐 구성한 설명 모형과 디자인의 추론과 합의 과정을 시각화하기 위한 체계를 구성하는 작업을 수행하였다. 특히 이론과 실험 증거가 어떻게 문제 해결에 대한 답에 적용되었는지를 중심으로 분석하기 위하여 과학 탐구에 대한 학습 과정은 부력에 대한 개념의 발달 과정에 따라 실험 증거와 조정하는 양상을 살필 수 있도록 구성하였다. 디자인 문제에 대해서는 학습한 이론과 획득한 자료가 의사결정에 어떻게 영향을 미치는지를 중점적으로 분석하였다.

2. 연구 결과 및 논의

부력과 수영복 디자인 활동으로 구성된 ATA 적용 프로그램을 해결한 참여자들의 결과에 의하면, 문제 해결 과정의 특징이 있었다. 공통적으로 분석적 사고를 통해 논리적인 해결을 시도하는 것을 확인할 수 있었다. 과학 논변활동 과정에서는 상대적으로 고려해야 하는 요인을 이론과 경험, 실험 증거에 한정하였으며, 요인 간의 상관관계나 인과관계에 대해 파악하고자 하는 추론이 논의의 대부분을 차지하였다. 반면 디자인 논변활동 과정에서는 분석적 사고 이외에도, 다양한 영역을 통합적으로 이용하는 종합적인 사고를 하거나, 논의의 맥락에 따라 직관적 사고를 하는 양상이 드러나 차이가 있었다. 이러한 논변활동의 차이가 드러난 것은, 참여자들이 스스로 과학 논변활동과 디자인 논변활동의 속성을 구별하였음을 의미한다. 즉, 과학의 영역에 비해, 디자인의 영역에서 최적

의 해결책을 얻기 위한 활동이라는 측면으로 고려함에 따라 종합적인 사고를 하며, 사용자의 필요성을 고려하는 직관적인 사고를 하는 것으로 판단할 수 있다. 각 논변활동의 세부 과정과 결과를 토대로 참여자들의 사고와 추론에 대해 살펴보고, 어떤 결과로 연계되는지 논의하였다.

2.1 ATA 과학 영역의 문제 해결 특징

무게를 측정하는 다양한 상황에서 발생하는 인지 갈등에 대해 참여자들은 이론과 증거를 조정함으로써 부력에 대한 과학적 설명 모형을 구축하였다. 특히 그 중에서, '풍선 안에 드라이아이스를 넣고 기체로 변할 때, 무게는 어떻게 될 것인가?'라는 문제 상황에 대하여, '풍선이 커지면 기체를 밀어내 부력이 작용하여 무게가 감소한다.'는 설명 모형에 도달하였다. 세부적인 과정을 살펴보면, ATA 모형에 기반한 프로그램의 진행 과정 중에, 이론과 증거가 불일치한 경우 자신의 경험을 드러내어 추가 증거를 제시함으로써 설명 모형을 뒷받침 하거나, 증거에 기반하여 평가해 설명 모형을 이론적으로 확장시키기도 하였다. 설명 모형을 이론적으로 확장하는 것은 기존 지식으로 뒷받침하고자 한 잠정적 문제가 해결되지 못한 것이 핵심적인 역할을 수행했다고 평가할 수 있었다. 즉, 기존의 설명 모형의 타당성 획득 실패가 참여자들을 확장한 설명 모형으로 안내했다.

참여자 개인이 제시한 설명 모형이나 근거 이론, 증거는 과학적으로 타당하지 않거나 불충분한 경우도 있었으나, 논변활동을 통해 과학적으로 타당한 설명에 도달하였다. 특히, 찬반 형태의 문항에 대해 참여자들

은 각기 다른 입장을 취했으며, 타당한 추론이나 근거로써 뒷받침 되는 주장으로 합의하는 양상을 보였다. 의견을 명확하게 표현하기 위해 그림을 이용한 쓰기 논변활동이 일어나는 것도 관찰할 수 있었다, 위와 같은 결과는 논변활동 중에 설명과 설득이 활발하게 이루어졌음을 입증한다.

ATA 모형에서 제안한 학습 자료 중에는 데이터베이스의 사용을 관찰할 수 있었으며, 관찰을 대신하는 동영상 자료는 참여자들이 신뢰도 있는 증거로 판단하고 사용해, 설명 모형 확장에 간접적인 영향을 주었다. 문제의 특성과 추론의 난이도에 따라 교사의 인지적 지원이 필요한 경우도 있었지만, 참여자들은 의견을 골고루 제기하고, 스스로 의사진행 발화를 하는 등, 문제 해결을 위해 참여자들 스스로 사회적 합의 과정을 수행하는 것을 관찰할 수 있었다.

과학 탐구 과정에서 드러난 논변 양상과 문제 해결에 대하여 이론과 실험 증거의 일치 여부에 따라 살펴보고자 한다.

2.1.1 실험 증거와 이론의 불일치

총 4개의 문제 상황으로 구성된 ATA 과학 탐구 논변 과정은 다섯 가지의 이론과 실험 증거의 일치 여부를 판단하고 논의하도록 이끌었다. 세 번째 문제 상황인 가지 달린 삼각 플라스크의 가지의 바로 아래까지 물을 넣고, 추를 넣어 무게를 측정하는 문제 상황은 그 현상 자체에 대한 설명과 두 번째 단계인 물속에서의 무게 측정과 연계하여 설명하는 두 가지 상황으로 세분화되기 때문에 총 다섯 가지 상황이 도출된다. 이 중, 세 가지 상황은 소집단이 구성한 모형의 이론과 실험 증거가 서로 불일치했으며, 하나의 상황은 이론과 실험 증거가 일치했고, 세 번째 상

황 자체에 대한 설명은 실험 결과에 대한 단순 기술로 정리되었다.

이론과 실험 증거가 불일치한 상황은 풍선과 관련된 두 가지 상황과 물속과 물 밖에서 추의 무게를 측정하여 비교하도록 제시한 두 문제를 통합하여 설명할 때 드러났다. 이 중, 풍선과 관련된 두 상황은 이론 기반 평가가 이루어졌고, 나머지 한 상황은 증거에 기반한 평가가 나타남을 확인하였다. 증거 기반 평가가 이루어진 논변활동은 부력에 대한 과학적 설명 모형 확장에 핵심적인 역할을 수행했다.

2.1.1.1 이론 기반 평가

총 다섯 가지의 상황 중, 첫 번째 문제 상황과 마지막 문제 상황에서는 참여자들이 예측 단계에서 합의한 주장과 실험 증거가 서로 일치하지 않아 설명 단계에서 이론에 기반하여 증거를 조정함으로써 인지적 갈등을 해결하였다. 이론에 기반하여 평가하였다는 것은 예측 단계에서 합의한 이론이 현상을 설명하기 위해 적합하다고 설명 단계에서도 합의하고, 유지하였음을 의미한다. 하지만 실험이나 실세계에서는 다양한 요인들이 작용하여 이상적인 상황을 재현할 수 없기 때문에, 구체적인 수치나 결과에서 차이가 나타났다고 판단하는 것이다.

첫 번째 문제 상황은 풍선이 부풀 때 무게가 변화하는지의 여부를 묻는 상황으로 의도적으로 불일치를 유도하였다. 참여자들의 담화를 살펴보면, 상태 변화에서 질량은 보존된다는 원리를 기반으로 추론하며 참여자 A가 반대 의견을 제기하지만, 비 과학적 개념에 근거한 주장으로 예측 단계에서의 논의 과정에서 다른 참여자들에 의해 반박된다. <표 V-3>에서 볼 수 있듯이, 참여자 A는 기체가 고체보다 가볍다는 비 과학적

개념을 이용하여 측정값이 변할 것이라고 주장하였다. 또한 질량 보존의 법칙에 대해 배우지 않아, 상태 변화가 일어날 때 기체가 가벼우므로 무게가 감소한다는 주장을 제기한다. 이에 대해 참여자 D는 잠시 동의하지만, 초기에 본인이 질량은 물질의 고유한 양이기 때문에 변하지 않는다는 추론을 유지하고, B의 근거를 받아들인다. 마찬가지로 A 역시 질량은 변하지 않는다는 의견으로 본인의 의견을 수정하였다. 참여자 A가 가지고 있는 선개념의 부족으로 인해 제한적인 근거에 의존한 의견이 논변활동을 통해 수정되었음을 알 수 있다.

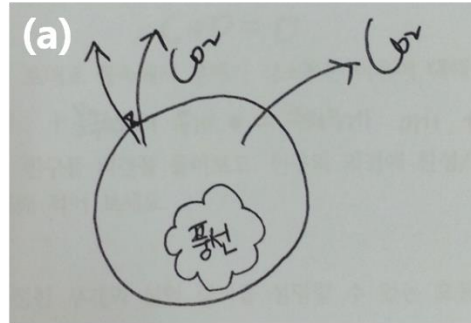
<표 V-3> 풍선이 부풀 때 무게 변화에 대한 예측 단계의 담화

참여자	말화	담화 요소
A	난 다를거 같은데	반대 주장
D	뭐 다를거 같다고? 왜?	의사진행
A	질량 보존 법칙을 안배워가지고 ...	근거
D	쌤 질량은 어떻게 확인해요?	의사진행
T	(무게 측정은 저울로 가능하다는 설명)	
D	그게 변할거 같은데. 기체로 바뀌면 가벼워지지 않나?	정교화 (반대 주장)
A	기체니까 ...	동의
D	아냐아냐 안변할거야	반박
B	기화 ... 승화 ... 변환게 아니잖아.	근거 (주장)
D	승화로 쓸게, 근데 아까 니가 말한 ... 그것도 ...	의사진행
B	그거는 원래 ... 그러니까 저울이라는게 ...	명료화
D	만약에 무게가 덜나가면 추가 기울어질거 아니야 무게 변화가 없다는거 아니야?	의사진행

이 집단은 질량은 변하지 않을 것이라고 의견을 모았으나, 실험 결과는 15.6 g에서 시작해서 15.1 g으로 감소했다. 따라서 질량 보존의 법칙

이 현상을 설명하지 않는 이유에 대해 추론해야 했다. 하지만 부력의 원리를 이용하여 설명하기보다, 다른 근거를 이용하여 설명하였다. 이를 통해 현 단계에서는 부력이 작용하는 상황으로 참여자들이 인식하지 못했음을 알 수 있다. 참여자들은 설명을 위한 근거를 제시해 준 데이터베이스와 각자의 경험으로부터 찾았다. 참여자 A와 C는 시간이 지나면 풍선에서 공기가 빠져나가는 것과 동일하게 풍선 안에 있는 이산화탄소가 빠져나갔을 것이라고 설명하였다. 나머지 두 참여자인 B와 D는 데이터베이스에 기록되어 있는 '질량 보존의 법칙' 자료에서 근거를 구성하였는데, 해당 자료의 문장은 다음과 같다. '다만, 아인슈타인의 상대성이론에 의하면, 반응열의 출입에 따르는 반응계의 에너지증감에 의해서 극히 미소하지만 반응계의 질량은 변화를 받으므로, 엄밀히 말하자면 이 법칙은 성립하지 않으며, 이런 뜻에서 이 법칙은 근사적인 법칙이라고 말할 수 있다.' 핵반응과 같이 매우 큰 온도 변화가 수반되는 반응에서 질량이 보존되지 않을 수 있는데, B와 D는 현상을 설명할 수 있는 이론적 접근 방법을 찾지 못해 이 내용을 근거로 삼았다.

A와 C의 근거는 질량 보존의 법칙은 성립한다는 가정 하에 자신들의 경험을 근거로 현상을 설명하였기 때문에, 이론 기반 평가라고 분석할 수 있고, B와 D는 질량 보존의 법칙에 대한 개념의 일부를 수정함으로써 현상을 설명하려 하기 때문에 증거 기반 평가라고 볼 수 있다. 최종적으로 참여자들은 이론을 수정하기 보다 증거에 문제가 있다고 판단하였으며, 아래 <그림 V-9>와 같은 형태의 모형으로 설명하는 것에 도달하였다. <그림 V-9>는 첫 번째 문제 상황에 대한 이론과 증거의 평가 과정에서 나타난 갈등 상황과 최종 합의 결과를 도식화 한 것이다.

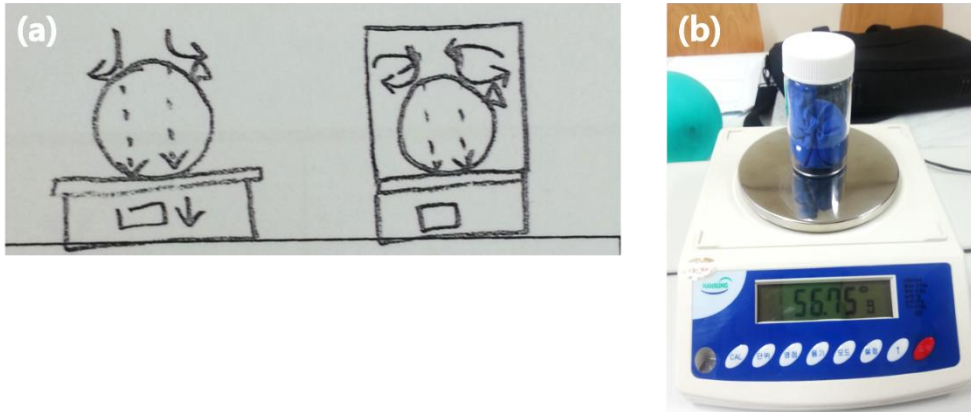


(b)	
주장	<div>(제시된 상황에서) 무게는 변화한다.</div> <div>(제시된 상황에서) 무게는 변화하지 않는다.</div>
예측	<div>기체는 고체보다 가볍다. (이론)</div> <div>상태변화가 일어날 때 물질은 변하지 않는다. (이론)</div>
근거	<div>관찰</div> <div>드라이아이스가 들어 있는 풍선의 부피가 커지면 무게 측정값이 감소한다.</div>
설명	<div>에너지 증감에 의해 질량 측정값이 변화할 수 있다. (이론)</div> <div>풍선에서 이산화탄소가 빠져나간다. (경험)</div>

<그림 V-9> 단계 1에서의 이론 기반 평가 (a) 문제 상황에 대해 설명 단계에서 최종적으로 도출한 설명 모형, (b) 이론과 증거의 조정 과정

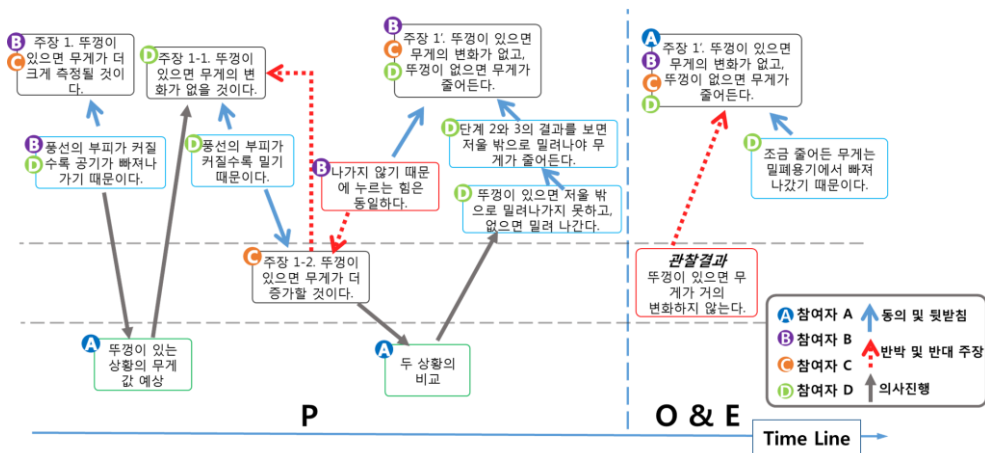
두 번째 이론 기반 평가는 마지막 과정에서 나타났다. 마지막 과정은 앞선 첫 번째 문제 상황이 발생하는 이유를 찾고, 상태변화 시 질량이 보존됨을 증명할 수 있는 실험을 구성하는 상황이다. 앞선 활동을 통해 참여자들은 부력이 작용하는 것은 물체의 부피와 밀접한 연관이 있다는 것을 알고 있는 상황이다. 따라서 황선미와 정대홍(2013)의 연구에서 제시한 실험과 같이 닫힌 공간에 드라이아이스를 담은 풍선을 넣고 무게

를 측정하면 변화가 없을 것이라는 예상에 도달하여 실험을 수행했다. 예측 과정에서 참여자 C가 닫힌 공간에 있으면 기체 입자가 저울에 가하는 압력이 증가하여 무게가 증가할 것이라는 반박을 펼치지만, D가 해당 주장에 대해 기체 입자의 수는 동일하기 때문에 압력과 관계가 없다는 요소 반박을 펼쳐 의견을 합의했다. 최종적으로 <그림 V-10 (a)>의 형태의 설명 모형에 합의하였고, <그림 V-10 (b)>의 구성으로 실험을 설계하여 진행하였다.



<그림 V-10> 단계 4에서의 이론 기반 평가 (a) 닫힌 공간에서는 부피가 무게 측정에 영향을 주지 않음을 설명하는 모형, (b) 설명 모형에 기반한 실험 설계

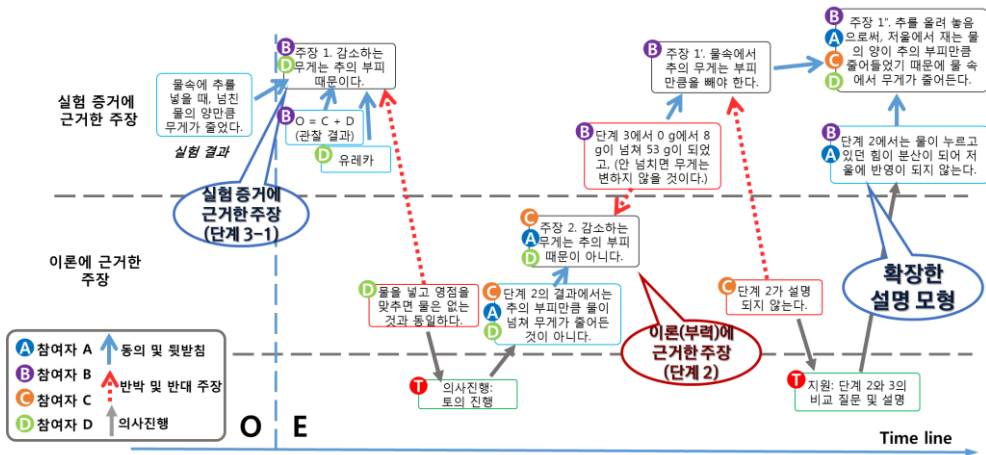
실험의 결과는 미세하게 측정값이 감소하였다. 따라서 측정값이 변화하지 않을 것이라는 예측과 불일치가 일어나며, 조정 작업이 필요하였다. 이에 대해 참여자 D가 '밀폐 용기에서 조금 새어나간 것 같다.'라는 의견을 제기하였고, 모든 참여자가 이에 동의하여 소집단의 주장이 최종적으로 구성되었다. 이 사례에서는 현상에 대해 예측한 모형과 실험 증거의 차이가 있었으나, 이전에 학습한 내용들이 기반이 되어 모형의 타당성에 대해 의심하지 않았다. 그렇기 때문에 증거의 문제점을 찾기 위한 목적의 담화에 참여자들이 집중하였고, 이론에 대한 의구심 없이 증거 획득 과정에서의 오류로서 현상을 설명하였다. <그림 V-11>은 이 활동에서 참여자들이 구성한 담화 양상이다. 반대 주장이 제기되었으며, 예측과 실험 증거의 차이가 있지만 이전 학습의 결과에 의해 구성된 모형으로 현상을 설명하는 것에 참여자들이 집중함을 드러낸다. 연속된 학습을 위해서는 제기한 추론이 옳은지 검증하기 위해 완전히 밀폐된 공간을 구성하고 실험하는 과정이 필요했으나, 그 이후로 연계되지는 못했다.



<그림 V-11> 닫힌 공간에서 부피가 변화하는 물체를 측정할 때의 무게 측정값에 대한 POE 활동의 담화 양상과 결과

2.1.1.2 증거 기반 평가

이론과 실험 증거가 불일치한 결과가 나타난 상황 중, 두 번째 문제와 세 번째 문제를 통합하여 해석하는 과정에서 증거에 기반하여 평가하는 것을 확인할 수 있었다. 증거에 기반하여 평가하는 인식적 활동을 통해 참여자들은 현상을 설명하기 위한 설명 모형을 <그림 V-12>의 과정과 같이 확장하였다. 밀려난 물의 양에 해당하는 만큼 부력이 작용하며, 두 상황 모두 물이 저울 위에서 밀려났음을 증거로 받아들이고, 부력의 작용에 대한 이론을 수정하였다. 즉, 이전 단계에서 논변활동을 통해 합의한 비과학적인 부력의 설명이 아니라, 밀려나간 물이 원인이라고 부력에 대한 개념을 수정하였다.



<그림 V-12> 증거 기반 평가를 통해 설명 모형을 이론적으로 확장하는 논변활동의 양상

두 번째 문제의 상황은 물속과 물 밖에서 추의 무게를 측정하고 비교하는 것이며, 세 번째 문제의 경우에는 추를 넣으면 물이 초자 밖으로 넘쳐 나가는 것이 가시적으로 보이는 차이가 있다. 두 상황을 통합하여 참여자들은 '저울 위에서 재는 물의 무게 중에서 추를 올려 놓음으로써, 저울에서 재는 물의 양이 추의 부피만큼 줄어들었기 때문에 물 속에서 무게가 줄어든다.'라는 합의된 주장에 도달하였다. 합의된 주장은 확장된 설명 모형에 의해 뒷받침 되는데, 두 상황을 모두 성공적으로 설명할 수 있었다. 확장된 설명 모형 도달하기까지 참여자들은 인지적 갈등을 쉽게 해결하지 못하였고, 교사의 인지적 지원이 필수적이었다. 세부 과정을 살펴보면 <표 V-4>의 담화 양상과 같다.

<표 V-4> 문제 2 와 문제 3 을 통합하는 설명 모형 구성의 담화

참여자	발화	담화 요소
B	추의 부피에서. 추의 무게에서. 왜 빠냐고 -0.8 주장 g. 물속에서 원래 추의 무게 빠기...	
A	빠지지도 않았는데... 빠졌지만 ...	
B	(한숨)	
D	그럼 여기서(문제 2에서) 차이가 없는거잖아.	반박
B	근데 또 여기 안에서.	반박
D	모순이야 이건 모순이야	
C	근데 이거 진짜 너무 애매해. (교사에게) 여기서는요. 물 안 줄었잖아요. 근데 8g이 추의 부피잖아요.	
A	근데 빠진 물이 없는데 줄었으면 추의 무게 부피 때문에 무게가 준 게 아니에요?	
B	0 g 이잖아요... 8 g 나왔죠. 추에 넣은 상태는 근거 53 g 인데 만약 이게 안 넘쳤으면요.	
T	근데 꼭 그렇다는 생각을 버려야 해.	
B	그러면 물이 더 많으면...	
T	꼭 그게 들어가면은 똑같을거다.	
B	물은 8 mL가 8 g이라고...	근거

참여자들이 해결하지 못하고 논의가 지속된 갈등은 두 문제의 상황이 같지 않다고 해석한 것에 기인한다. 앞선 담화 양상에서 참여자 B를 제외한 모든 참여자는 두 번째 상황에서는 부력이 작용하여 추의 무게 측정값이 감소하지만, 세 번째 상황에서는 물이 넘쳐 추의 무게 측정값이 감소하였다고 판단하였다. 이는 참여자들에게 두 상황을 쉽게 통합하지 못하는 강한 내적 갈등을 유발하였다. 참여자 B 역시 세 번째 상황으로 두 번째 상황을 쉽게 설명하지 못함으로 인해 다른 참여자들을 설득하지 못하자 갈등에 놓였다. 물의 밀도를 이용하여 8 mL의 물이 8 g에 해당한다고 환산한 자료를 이용해 설명하려 하지만, 설명이 불가능하다고 반박하는 다른 참여자들을 설득하지는 못했다. 즉, 나머지 세 참여자들은 참여자 B의 근거가 핵심적인 근거가 아니기 때문에 받아들이지 않았다.

따라서 참여자 B와 다른 세 참여자 사이에 반복적인 논의가 지속되었으며, 두 상황을 통합할 수 있는 교사의 인지적 지원이 필요하였다. 초점집단 내의 모든 참여자가 두 상황을 통합하지 못하자 교사에게 힌트를 부탁했고, 교사는 두 상황 자체를 비교하는 인지적 지원을 제공했다. 초점집단의 참여자들은 수조 안에 저울을 넣고 무게를 재는 상황에서는 추가 들어갈 때, 저울 위에 있던 물이 밀려나는 것을 고려하지 못하고 추론한다. 따라서 두 상황이 동일함을 인지할 수 있도록, 상황을 상세히 비교하고, <표 V-5>의 맨 마지막 교사의 질문을 통해 밀려나는 상황에 대한 판단이 가능하도록 질문을 했다. 교사의 질문에 의해 참여자 A와 B가 두 활동의 공통점을 파악하였고 다른 참여자들에게 설명함으로써 소집단의 주장으로 합의하였다. 즉, '저울 위에 있던 물이 분산됨으로써 (밀려남으로써)' 문제 2에서도 무게가 줄어든다는 의견에 도달하였다. 이에 대해 참여자 D는 처음에는 정확한 이해를 하지 못하지만, 참여자

B가 <표 15>의 마지막 발화를 함으로써 이해하고, 합의에 이르렀다.

<표 V-5> 문제 2와 문제 3을 통합하기 위해 교사가 제공하는 인지적 지원과 담화

참여자 발화	
A	근데 이걸(문제 3) 가지고 이걸(문제 2) 설명해야하죠 근데 ...
T	영상에서 보면 지금은 저기 수조 밖에 있고, (문제 2는) 저울이 수조 안에 있어. 그런 차이가 있어.
A	근데 여기서(문제 2에서) 물이 이렇게 나오는데... 여기는(문제3은) 빠진게...
T	요걸 잘 봐봐 둘 사이는 (어떤지) 여기 1번은 안에서 실험을 했고, 2번 실험은 어떻게 한거냐면 이 위에다가 플라스크를 이렇게 두고서 이렇게 가지를 뺐지.
B	물속에서 무게를 재는거예요 아니면 물속에 있는 물체의 무게를 재는거예요?
T	그러니까 둘 다 물속에 있는 물체의 무게를 재 건 똑같은데 이거는 안에 있느냐 밖에 있느냐 차이야. <u>그런데 이렇게 되면 추를 넣으면 물이 빠져나가지. 여기(문제 2)에 추를 넣으면 물은 어떻게 되지? 올라가나?</u> .....(중략).....
B	이거이거이거이거. 이거는(문제 2 는) 물체의 무게 마이너스, 그러니까 물속에서의 무게는 물체의 무게 빼기 지금 이거

3 번 써 놓은거 이거... 3 번에 써놓은거 이거 있잖아. 3 번에 써놓은거 3 번에 써놓은게 여기...

A 그러면 여기서(문제 3 에서는), 마이너스로 빠져 나갔기 때문에 줄어들었잖아 그러면 이것도(문제 2 도) ...

D 그런데 여기서 안빠져...

B 이렇게(밀어내는 동작). 여기, 여기(저울 위를) 누르고 있는 힘이 여기서 분산이 되고 물체에...

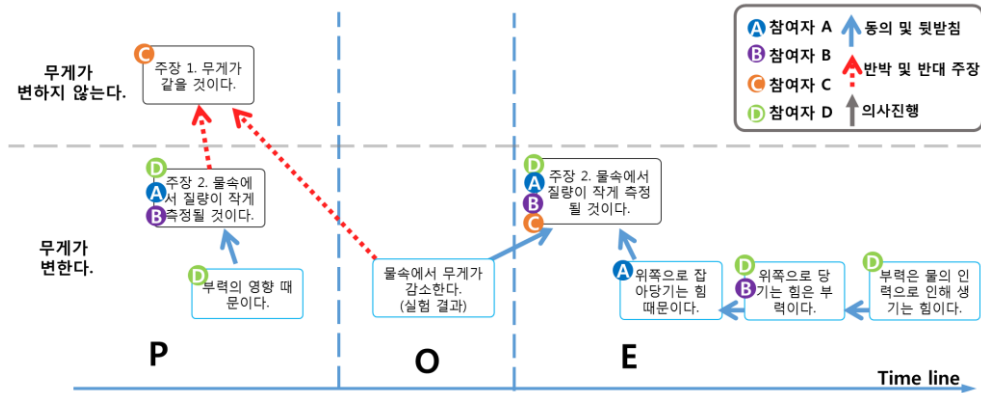
이러한 담화 양상은 전통적인 방법의 IRE(Initiation-Response-Evaluation)의 틀에 거의 정확하게 맞는 방법으로(Lemke, 1990), 교사 주도의 담화 진행으로 평가할 수 있다. 하지만 참여자들이 쉽게 갈등을 해결하지 못할 때에는 이러한 적극적 개입이 필요하다. Nussbaum과 Schraw(2007)가 언급한 바와 같이, 갈등 상황에서 다른 관점을 고려하지 못할 때, 대안 주장을 고려하거나, 관점의 변경을 불러올 수 있는 지원은 타당한 근거를 사용하고, 주장을 정교화하는데 큰 도움이 될 수 있음을 확인할 수 있다. 세 번째 문제 상황의 설명 모형을 이용하여 두 번째 증거를 설명하는 과정에서 교사의 질문은 증거와 이론을 모두 만족시킬 수 있는 지원 방법이 되었으며, 이를 통해 성공적으로 설명 모형을 확장하는 계기가 되었다.

이 과정까지 거친 설명 모형으로 부력을 이해함으로써, 참여자들은 처음에 제시된 '드라이아이스를 풍선에 넣고 무게를 측정하는 상황'에서 무게가 감소하는 이유에 대해 더 일반화된 형태로 모형을 수정하여 설명

할 수 있었다. 즉, 증거에 문제가 있는 것이 아니라, 이론을 수정해야 함을 설명 모형의 확장을 통해 확인하였다. 또한 부피가 증가할 때, 질량이 보존되지 않는 문제를 해결할 수 있는 실험 설계로 연계할 수 있었다. 따라서 연계된 문제 해결 과정에서, 핵심적인 단계에 해당하는 개념 혹은 이론을 정교하게 조정한 세 번째 단계와 같은 활동들은 체계적으로 구성되어야 한다.

2.1.2 실험 증거와 이론의 일치

초기에 예측했던 결과와 실제 실험을 통해 획득한 결과가 일치한 경우는 물속과 물 밖에서 물체의 무게 측정값을 비교하는 상황에서만 나타났다. 예측 단계에서 C는 무게가 같을 것이라고 예측하였고, 나머지 참여자는 물속에서 작게 측정될 것이라고 예측하였다. D가 제시한 근거인 부력 작용에 대한 설명을 듣고 C는 의견을 바꾸어 합의하였으며, 관찰 단계에서 확인한 실험 결과도 이들의 합의된 주장을 뒷받침하였다. <그림 V-13>는 전체 과정에서 참여자들이 제시한 주장과 근거에 대한 담화 양상이다.



<그림 V-13> 물속과 물 밖에서 물체의 무게를 측정할 때의 무게 측정 값에 대한 POE 활동의 담화 양상과 결과

예측과 관찰 결과가 일치함에 따라 참여자들은 근거를 정교하게 조직하고자 부력에 대한 정의를 서로 설명했다. 부력에 대해 중력의 반대 방향인 위쪽으로 잡아당기는 힘으로 방향을 결정하고, 물의 인력을 부력의 원인으로 결정하는 정교화 작업을 수행했다. 하지만, 부력의 원인은 물의 인력에 의한 것이 아니라 물체가 매질을 저울 밖으로 밀어내서 형성되는 힘임을 고려하면, 참여자들은 부력에 대해 여전히 제한적으로 과학적인 개념을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 이론과 증거가 부합하는 결과는 쉽게 접할 수 있는 개념 검증을 위한 실험과 유사한 결과를 유도할 수 있다. 비과학적 개념을 과학적 개념으로 수정할 수 있는 기회는 인지적 갈등에 의해 제공할 수 있을 것이며, 추가적인 학습과정이 필요할 것이다.

2.1.3 실험 관찰의 단순 서술

가지 달린 삼각플라스크를 활용한 활동인 세 번째 문제 해결 중, 관찰한 실험 증거를 설명하는 과정은 단순한 설명 목적의 담화에 의해 이루어졌다. 앞선 이론과 실험 증거의 불일치 중 증거 기반 평가가 이루어진 상황은 세 번째 문제에서 관찰한 결과와 두 번째 문제에서 관찰한 결과를 비교하여 설명하는 활동으로, 두 상황을 종합하여 설명 모형을 구성하기 때문에 다른 상황으로 구분하여 분석하였다. 동영상으로 제시된 자료에 의하면, 물 밖에서 측정한 추의 무게는 61 g이고, 물속에서는 53 g으로 무게가 측정된다. 그리고 삼각플라스크의 가지를 통해 8 mL의 물이 넘쳐 나오는데, 세 무게 사이의 관계에 대해 물이 넘쳐 나옴으로써 추의 무게가 감소하였음을 참여자들은 정확하게 설명하였다. 즉, 넘친 물의 양과 물속과 물 밖에서 측정한 추의 무게의 차이가 일치함을 설명하였다. 또한 <표 V-6>의 담화에 드러나듯이, 아르키메데스의 일화를 언급하여 다양한 방법으로 설명하고자 하였다.

<표 V-6> 가지 달린 삼각플라스크에 추를 넣어 무게를 측정할 때 무게 변화에 대한 설명 단계의 담화

참여자 발화	
D	(넘친 물의) 부피의 무게가 이 추의 무게 ...
B	근데 그거 아냐? 물속에서의 추의 무게는 추의 무게 빼기 ...
D	그거잖아 유레카

이 문제 상황은 다음으로 이어질 문제 상황에서 인지적 갈등을 일으키는 핵심적인 요인이며, 정확한 설명이 필요한데, 참여자들의 담화를 통해 수업 설계의 의도가 달성되었음을 확인할 수 있다. 그리고 동영상으로 준비한 데이터베이스에 대해 참여자들은 높은 신뢰도를 가지고 있어, 조작이 복잡하거나 어려운 실험의 경우 동영상 자료의 효과적임을 간접적으로 드러냈다.

초점집단은 최종적으로 ATA 모형의 적용 프로그램에서 의도한 개념에까지 도달하는 것을 <그림 V-14>과 같이 확인할 수 있었다. <그림 V-14>의 내부 내용은 참여자들이 각 과정에서 제시한 근거이다. 그 중에서 선택된 근거에는 검정색 상자로 표기하였다. 총 5번의 추론 과정에서 3번의 이론과 실험 증거의 불일치 상황을 겪었고, 1번의 일치 상황을 경험했다. 나머지 1번은 실험에서 관찰한 사실의 단순 서술로 활동이 정리되었다. 그리고 3번의 불일치 상황에서 2번의 이론 기반 평가, 1번의 증거 기반 평가 활동을 수행했다. 증거 기반 평가가 진행된 활동이 부력에 대한 개념을 이해하여 문제를 해결하기 위해 핵심인 과정이었고, 논변활동과 교사의 지원을 통해 부력에 대해 과학적 개념을 이해하게 되었다. 이를 기반으로 풍선이 부풀 때의 무게 측정 상황의 문제를 성공적으로 해결할 수 있었다.

단계	(제시된 상황에서) 무게는 변화한다.	(제시된 상황에서) 무게는 변화하지 않는다.
1 예측 관찰 설명	<p>기체는 고체보다 가볍다. (이론)</p> <p>드라이아이스가 들어 있는 풍선의 부피가 커지면 무게 측정값이 감소한다.</p> <p>에너지 증감에 의해 질량 측정값이 변화할 수 있다. (이론)</p> <p>풍선에서 이산화탄소가 빠져나간다. (경험)</p>	<p>상태변화가 일어날 때 물질은 변하지 않는다. (이론)</p> <p>실험 증거와 이론의 불일치</p> <p>이론 기반 평가 / 추가 정보(경험적 근거)로 설명</p>
2 예측 관찰 설명	<p>물속에서는 부력이 작용한다. (이론)</p> <p>물속에서는 물 밖과 비교해 무게 측정값이 감소한다.</p> <p>물속에서는 위쪽으로 잡아당기는 힘인 부력이 작용한다. 부력은 액체의 인력 때문에 생긴다. (이론)</p>	<p>실험 증거와 이론의 일치</p>
3-1 관찰 설명	<p>물이 짙은 초자에 추를 넣으면 넘친 물의 양만큼 추의 무게가 감소한다.</p> <p>물이 넘치기 때문에 그만큼 저울에서 벗어난다. (설명 모형)</p>	<p>실험 관찰의 단순 서술</p>
3-2 관찰 설명	<p>물속에서는 물 밖과 비교해 무게 측정값이 감소한다.</p> <p>물이 넘치기 때문에 그만큼 저울에서 벗어난다. (설명 모형)</p> <p>저울 위에서 저울을 누르던 물의 힘이 분산되어 저울에 반영되지 않는다. (확장된 설명 모형)</p>	<p>단계 2의 증거와 3의 모델과의 연계</p> <p>실험 증거와 이론의 불일치</p> <p>증거 기반 평가 / 설명 모형의 이론적 확장</p>
4 예측 관찰	<p>풍선의 부피가 커지면 기체를 밀어 저울을 많이 두들긴다. (이론)</p> <p>무게 측정 값이 소량 감소한다. (단계 1보다 감소하는 양이 작다.)</p> <p>풍선의 부피가 커져도 닫힌 공간에서 입자가 거의 빠져나가지 못한다. (설명 모형)</p>	<p>풍선의 부피가 커져도 (입자가) 나가지 않는다. (이론-설명 모형)</p> <p>실험 증거와 이론의 불일치</p> <p>이론 기반 평가</p>

<그림 V-14> 과학 탐구 중에 나타난 논변의 결과와 이론과 증거의 조정 양상

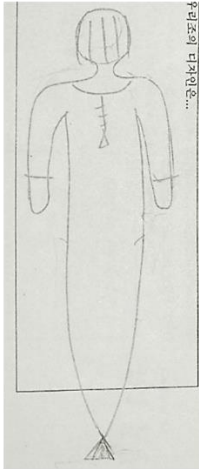
2.2 ATA 디자인 영역의 문제 해결 과정과 특징

디자인 논변활동을 통해 참여자들은 총 4번 이상의 디자인을 구성하였다. 초기 2번의 디자인은 관찰, 시범 적용 없이 디자인을 설계하였고, 이후 2번은 시범 적용의 결과를 토대로 수정의 방향을 합의하고 보조 수영복을 제안하였다. 프로그램 구성의 흐름에 따라 참여자들은 첫 번째로 기능만을 고려한 상태에서 디자인을 제안하였고, 과학적 원리와 구체적인 전략, 방법을 논의한 이후에 디자인을 추가로 제시하였다. 이후에는 DOE 단계에 따라 평가와 반성의 인식론적 활동을 수행한 결과를 토대로 디자인을 제시하였다. 최종적으로 2회의 시범 관찰 적용을 거친 결과물을 제품 홍보문의 형태로 표현하여 디자인에 대한 주장과 추론을 제시하였다. 앞선 나머지 세 번의 디자인은 추론한 결과를 간단한 그림으로 표현하고 논의하는 과정에서 드러났다.

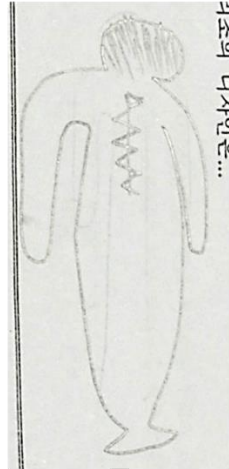
2.2.1 디자인 문제 해결 과정

참여자들은 다양한 기준과 과학적 원리를 이용하여 자신들이 구성하고자 한 기능이 구현된 수영복을 제안하였다. <그림 V-15>는 단계별로 제시한 수영복 디자인으로, 각 단계에서 어떻게 디자인이 변화하였는지 드러낸다. 기능 결정 단계에서 구성한 수영복은 일체형과 지퍼를 사용한 디자인을 설계하였고, 부력을 증가시키기 위한 과학적 수치 적용과 재료 결정 단계에서 구체적인 재료 사용의 수치와 재료 배열의 순서를 결정하였다. 재료 배열의 순서는 외부에서부터 수영복 원단, 에어캡, 스펀지로 결정하였다. 1차 시범 적용을 통해 방수 기능을 추가하였고, 2차 시범 적용을 통해서는 더 이상의 변화 없이 최종 디자인을 확정하여 제작하였다.

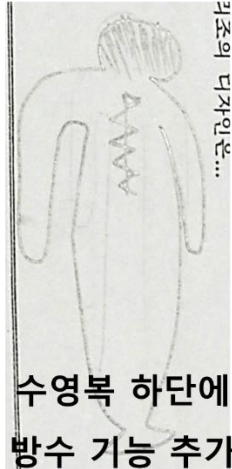
초기 디자인
- 기능 결정



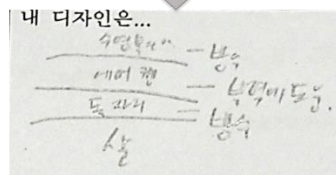
1차 디자인
- 기능/재료 결정
- 과학적 원리 적용



2차 디자인
- 시범 적용 후 수정



최종 디자인
- 시범 적용 후 수정



<그림 V-15> 수영복 디자인의 산출물과 변화 양상

최종 디자인의 특징과 장점, 원리에 대하여 대해 참여자들은 <그림 V-16>의 홍보용 포스터를 통해 문제 해결 전략과 결과를 발표하였다. 산출물의 홍보는 제작한 디자인이 상정한 필요성에 대해 갖는 해결책과 효과를 주장할 수 있어야 하기 때문에, 쓰기 논변의 형태로 분류할 수 있었다. 우선 제작한 수영복이 본래의 기능인 물에 수평으로 뜨는 결과를 보여주었으며, 이를 달성할 수 있었던 이유로 에어캡과 스펀지의 이중 구조 기능을 주장하였다. 이중 구조가 하체를 띄울 수 있는 이유를 밀도의 감소와 부력의 증가로 뒷받침하였다. 그 중, 밀도는 1.9 g/mL에

서 0.9 g/mL로 감소하는 것이 첫 번째 근거였다. 또한 수영복의 부피가 53 cm³ 증가함으로써 하반신의 총 부피가 80 cm³가 되며, 물에 2/3이 잠긴다고 가정하고 계산해 총 53.3 mL의 물을 밀어내 53.3 g만큼 부력 효과를 받는다고 뒷받침하였다. 디자인 형태의 측면에서는 일체형과 유선형 디자인의 효과를 언급하였다. 유선형 디자인은 마찰력을 감소시켜 수영에 도움을 준다는 주장을 제시하였고, 더불어 유선형이 가지고 있는 곡선 형태의 아름다움이 미적 만족도를 충족시킬 것이라는 주장도 추가하였다. 제시한 수영복 디자인의 효과와 전략에 대해 수업의 다른 참여자들의 동료 평가 결과는 5개의 소집단 중 1위로 강한 설득력을 갖고 있는 디자인을 설계했음을 확인할 수 있었다.

준으로 활용하였다. 또한 제기한 전제 중, 과학적 원리를 담고 있는 전제가 판단에 큰 기준으로 사용되었음을 확인하였다. 마지막으로 디자인 문제 해결 활동을 통해 참여자들은 과학적 개념을 타당하고 합리적으로 사용하며, 과학적 타당성 획득을 위한 전략을 세우고 시행하는 양상을 보였다. 이를 기반으로 학습의 효과와, 과학적 능력의 신장에 제한적이거나 효과가 있음을 알 수 있었다.

2.2.1.1 다양한 영역의 전제 사용

부력 보조용 수영복을 만들기 위하여 다양한 영역에 해당하는 전제들을 사용하였다. 전제는 디자인이 갖추기 희망하는 요구와 필요성을 반영하는데, 기능, 원리, 가치 등이 포함되었다. 다양한 전제들을 상정하고, 전제에 기반하여 평가하고, 의견을 합의하는 양상은 과학탐구를 수행할 때 이론이 차지하는 역할과 유사한 측면이 있었다. 탐구를 수행할 때, 이론은 설명 모형을 구성하여 예측을 만들어내는 역할을 하며, 결과를 평가하기 위한 수단으로 활용된다. 이와 마찬가지로, 참여자들은 이 전제들을 달성할 것을 예상하고 수영복을 설계하였으며, 시범 적용 후에 전제의 관점에서 디자인을 평가하는 것을 확인하였다. 하지만 본 연구에서 분석한 참여자들의 사례에서는 이론과 전제는 완전히 동일한 인식론적 위계에 위치한다고 평가하기는 어려웠다. 어떤 과정에서나 이론은 증거와의 비교 과정을 통해 평가의 대상이 될 수도 있지만(이선경 등, 2012), 전제는 한 번 합의에 도달한 후에는 이론과 다르게, 증거나 시범 적용의 결과와 비교하여 평가되지 않았다. 주로 평가의 대상이 아니라 평가의 기준으로만 활용되었으며, 제한적인 경우에 전제 자체가 폐

기되는 경우가 있었다. 디자인은 요구를 달성하기 위한 활동이기 때문에 (Jin & Geslin, 2010), 요구를 달성하기 위한 기능과 방법의 측면이 평가되거나 수정되었으며, 전제는 기능과 방법의 평가 기준으로 활용되었다.

전제의 사용은 순환적이며, 다양한 맥락에 영향을 주는 복합적인 양상으로 이루어졌다. 의사결정을 위한 논의에서 전제를 달성하기 위한 전략과 방법의 논의가 진행되기도 하였으며, 근거의 역할을 수행해 의견 합의에 핵심적인 평가 기준의 역할을 수행하기도 하였다. 한편 전제의 사용은 참여자의 발화를 통해 공론화 되기 이전부터 암묵적으로 사용되기도 하였으며, 기능의 결정, 부력 증가를 위한 과학적 수치 결정 단계 이후에는 명시적으로 활용되기도 하였다. 다만 ATA의 디자인 논변활동의 첫 단계가 디자인의 기능 결정임을 고려하면, 기능을 고려하는 단계에서 내적으로 이미 전제들을 상정하고 있음을 예상할 수 있다 (Kolodner *et al.*, 2003).

참여자들이 실질적으로 사용한 전제는 상체와 하체의 균형, 착용의 편리성, 경제성, 미적 측면의 총 4개이다. 첫 단계인 기능 결정 과정에서 움직임의 편리성과, 수영 보조 기능이 제기 되었으나, 다른 참여자들에 의해 반박되어 중요 전제로 합의되지 않았다. <표 V-7>에 제시한 수영 보조 기능과 관련된 담화 양상을 통해 전제의 합의 과정을 살펴볼 수 있다. A가 제기한 수영 보조의 필요성에 근거하여 보조 기능을 추가할 것인가에 대한 논의가 시작되었다. 암묵적으로 집단의 구성원들이 필요성에 대해 동의하였고, 실현하기 위한 기능을 어떻게 구현할 것인지에 대한 논의로 발전하였다. 하지만, A가 연속적으로 제시한 기능인 프로펠러 설치의 멈추기 어려워 오히려 장애인이 수영하는데 어려움을 유발할 것

이라는 반박에 부딪혔다. 이 반박에 B와 C가 동의함으로써, A가 제기한 프로펠러 설치에 대한 주장은 폐기되었고, 자연스럽게 수영 보조 기능 전제도 폐기되었다. 마찬가지로 움직임의 편리성에 대한 전제도 실현 가능성의 여부를 놓고 논의하는 과정에서 참여자들이 합의에 이르지 못하고 최종 전제로 포함되지 못하였다. 이러한 결과는 참여자들 스스로 합리적인 의사결정을 의도하고 있음을 드러내는 증거이다.

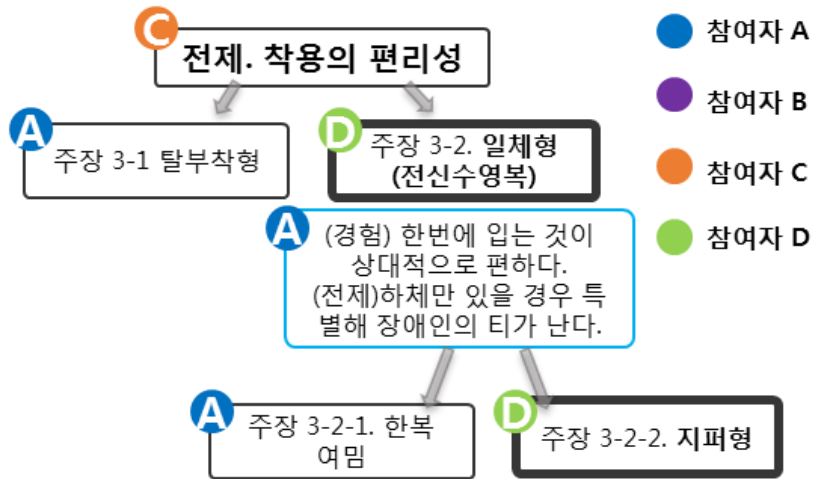
<표 V-7> 전제 '수영 보조 기능'에 대한 담화

참여자	발화	담화 요소
A	근데 진짜로 발이 뜨면 이것만 움직여서 갈 수 있 나? 거의 발 움직여야 되지않아? 어떻게 수영을 하지?	주장 (전제)
B	발?	의사진행
C	팔 힘이 좀 필요하긴 하겠다.	동의
D	여기다 이렇게	의사진행
A	괜찮은데? 우리 예전에 했던 프로펠러를 여기다가 발바닥 밑을 네모나게 만들면 프로펠러 달기 쉽잖아	주장 (기능)
B	추진력 있게 할 거야?	의사진행

B 못 멈추지 동의

자인 전반에 적용되었다. 상체와 하체의 균형을 맞추기 위한 방법의 구체화는 과학적 개념인 부력과 밀도를 최적화 할 수 있는 수치에 대한 논변활동과 구체적인 수치를 구현할 수 있는 방법에 대한 논변활동을 이끌었다. 착용의 편리성은 주로 수영복 형태에 대한 논의로 전체적인 모양에서부터, 입는 방법에 대한 논의가 관련되어 있다. 경제성은 사용하는 재료의 양과 관련이 있으며, 주로 상체와 하체의 균형을 맞추기 위한 설계 과정에서 고려해야 하는 기준이자 근거로 사용되었다. 마지막으로 미적 측면은 디자인 형태를 결정할 때 사용하는 근거로 활용되었다. 수업의 흐름에 따라 전제 기반의 의사결정 과정을 살펴보면 다음과 같다.

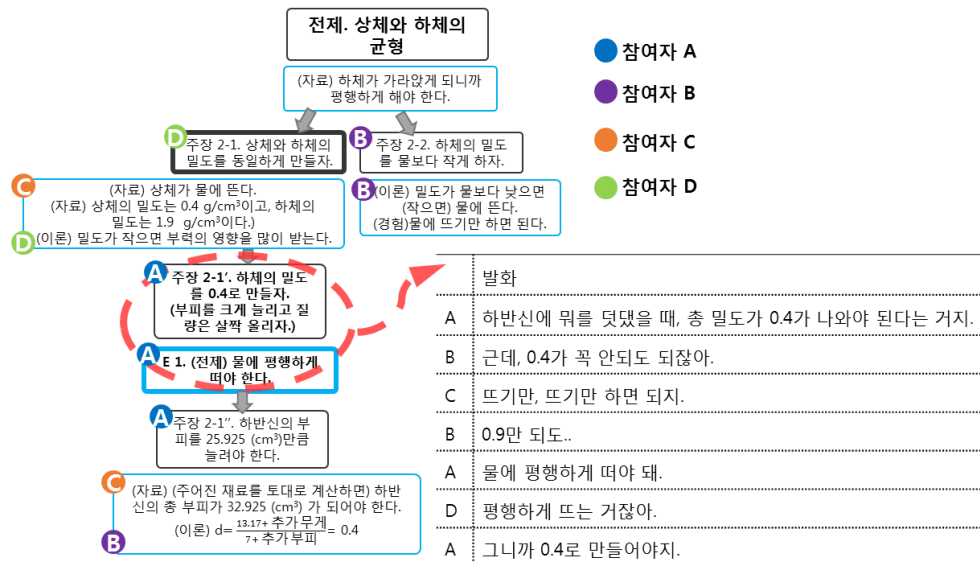
앞선 <그림 V-16>에서 살펴본 첫 번째 디자인은 기능 요소만 합의하여 결정한 다음에 그림으로 표현한 디자인이다. 논변활동을 통해 부력 보조 수영복이 갖추어야 할 필요성, 즉 전제로써 착용의 편리성과 상하체의 균형을 결정하여 적용한 것이다. 입고 벗기 쉬운 수영복을 위해 <그림 V-17>과 같이 탈부착형과 일체형 중에 일체형을, 일체형 중에서 한복 여밈의 형태와 지퍼형 중에서 지퍼형을 선택하였다. 일체형은 경험적으로 한번에 옷을 입는 것이 편하며, 다른 전제인 미적 측면에 의해 뒷받침 되어 합의되었다. 일체형을 구현하는 과정에서 다리를 묶은 형태가 결정되었고, 지퍼형을 비유적으로 표현하기 위해 실로 등을 묶는 결정을 하였다.



<그림 V-17> 전제 '착용의 편리성'의 실현 기능의 결정을 위한 담화양상

재료의 결정과 필요한 부력의 크기 결정 단계에서는 참여자들이 협력적으로 부력의 크기를 구하고, 재료를 선택하는 과정에서 논변활동이 일어났다. 시범 적용을 위해 제공된 모형을 구성한 상체와 하체의 재료의 밀도를 측정하고, 물에 띄우기 위한 수치를 결정하였다. 상체와 하체의 밀도를 동일하게 구성할 것인지, 하체의 밀도를 물의 밀도보다 작게 만들 것인지에 대한 대립되는 주장이 제시되어, 설득하고 반박하는 논변활동을 진행하였다. 상체의 밀도를 하체와 동일하게 맞추어야 한다는 주장은 상체와 하체의 균형이라는 전제와 밀도가 작으면 부력의 영향을 많이 받는다는 비 과학적인 이론이 뒷받침 한다. 반대로 하체의 밀도가 물보다 작게 제작하면 된다는 주장은, 밀도가 물보다 작기만 하면 된다는 근거를 통해 뒷받침되었다. 이 때, 의사 결정에 핵심적인 역할을 한 근거

는 참여자 A가 발화로 제시한 '전제'이다. <그림 V-18>의 논의 중간 과정에서 원으로 표기한 단계에 참여자 A는 전제를 근거로 들었고, 이를 기반으로 참여자 B의 주장을 반박하였다. 이에 다른 참여자들도 동의하여 물에 평행하게 뜨려면, 상체와 하체가 동일했을 때 가장 효과적임을 공유하였고, 이를 기반으로 하체의 밀도를 상체와 동일하게 맞추는 것에 합의하였다.



<그림 V-18> 전제 '상하체의 균형'의 실현 기능의 결정을 위한 담화 양상

위의 사례에서는 논변활동을 통해 결정한 주장의 핵심적 근거로써 전제만이 사용되어 논리적 측면에서의 약점이 있으나, 이에 대한 평가가 부족했다. 즉 문제를 뒷받침하기 위해 사용할 수 있는 근거가 다양한 영역에 있었고, 복잡한 기준과 가치들 간의 논의가 가능했다. 예를 들어, 참여자 D의 근거인 밀도와 부력의 관계에 대해 파악하거나, 반대 의견의 근거로서 경제성을 이용할 수도 있었지만, 이에 대해 구체적이고 발전적인 논의로 연결되지는 못했다. 위와 같은 담화 주제와 담화 양상에 대해 교사의 추가적인 질의나 피드백을 이용하여 발전적 논의가 연계될 수 있는 가능성이 있다. 위 사례 같은 경우에는 이후의 담화를 통해 새롭게 평가 기준이 제기되고, 확장된 논의로 연결되었다. 이에 대해서는 다음 '전제 기반 평가'를 통해 살펴보고자 한다.

이외에도 전제를 상정하고, 구현하기 위한 과정에서 논변활동은 다양하게 나타났다. 시범 적용을 하기 이전이기 때문에, 필요성과 해결 방법 간의 연계에 논의가 집중되었으며, 앞선 주제와 유사하게 구현할 때의 형태를 중점적으로 논의하였다. 논변활동의 주제를 살펴보면, '재료를 어떤 위치에 무엇을 사용할 것인가? 상체도 만들 것인가? 혹은 하체의 재료는 무엇으로 할 것인가? 재료는 얼마나 사용할 것인가? 하체를 통째로 감쌀 것인가? 혹은 일부만 감쌀 것인가?'를 주제로 논변활동을 펼쳤다. 합의한 결과에 의하면 참여자들은 하반신에 스펀지와 에어캡, 수영복 원단을 사용하고, 상체에는 수영복 원단만 사용하는 것으로 결정하였다. 이 단계에서 참여자 A와 D의 활발한 논변활동을 통해 하반신의 재료를 부력 보조용으로 최적화 하는 형태로 구현하였다.

미적 측면 전제를 기반으로 제기되는 주장들은 모두 수영복의 기능인

물에 뜨는 것이 검증된 이후 제기되었다. 그 이전 단계에서는 주장의 평가와 판단의 근거로 사용되기는 하였으나, 주장으로 제기되지는 않았다. 1차 시범 적용 이후에 제기한 주장은 '꼬리 모양의 디테일을 살리자.', '비싼 원단을 사용하자.'였고, 2차 시범 적용 이후에는 '등에 구멍을 뚫은 형태'가 주장으로 제기되었다. 한편 <표 V-8>에 제시한 담화를 살펴보면, 참여자들은 미적 측면을 경제성과 동일한 위계에 두거나, 오히려 상위의 기준으로 고려하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 주장들은 모두 적용되었고, 참여자들이 기능을 결정한 이후에는 미적 측면과 관련하여 제기한 주장은 가급적 모두 적용하는 것으로 드러났다. 이는 디자인 활동에서 참여자들이 일정한 순서대로 디자인 과정을 계획하고 있음을 드러내는 사례로, 원리나 기능의 결정에 더 중요한 비중을 두고 있음을 알 수 있게 한다. 따라서 일상적 맥락의 문제를 해결할 때, 문제 해결의 과정과 사안 별 중요성을 암묵적으로 고려하고 있음을 간접적으로 확인할 수 있었다.

<표 V-8> 전제 '미적 측면'과 '경제성'의 상충 관계에 대한 담화

참여자	발화
T	근데 왜 이걸 이 천은 더 비싼걸로 샀어?
D	몰라요.
B	이게 더 이쁘잖아요.
C	비싸긴 한데, 이게 더 수영복 같잖아요.
T	더 수영복 같아?
C	네 저희는 이게 맘에 들었어요.

다음 절에서는 전제가 주장에 대한 평가 기준으로 사용되거나, 근거로써 사용되는 사례를 살펴보도록 한다.

2.2.1.3 전제 기반 평가

전제 기반 평가란 전제가 근거로 활용되어 주장을 뒷받침하거나, 반박하는 상황으로 정의하였다. 두 가지 방법으로 전제가 평가에 활용되었는데, 첫 번째는 전제 자체가 근거가 되는 경우였고, 다른 하나는 전제가 근거를 뒷받침 하는 경우였다. 하지만 두 구분과 관련 없이 대부분의 근거가 전제와 관련성을 가지고 있었다. 특히, 전제에 기반한 반박이 제기되거나, 반대 주장을 지지하는 경우, 예측과 증거가 일치하지 않는 경

우의 판단의 기준으로 사용될 때, 디자인 결정의 핵심적인 역할을 수행함을 확인하였다.

<표 V-9> 전제 '상하체의 균형'을 위한 기능 결정에 전제 '경제성'이 평가 근거로 사용되는 담화

참여자 발화

D 야 부피를 127 늘려야지 0.4가 돼 밀도.

A 부피를 127이나 늘려야돼?

D 근데 만약에 (밀도가) 0.9가 될라면 56만 필요해

C 진짜 많이 필요하네?

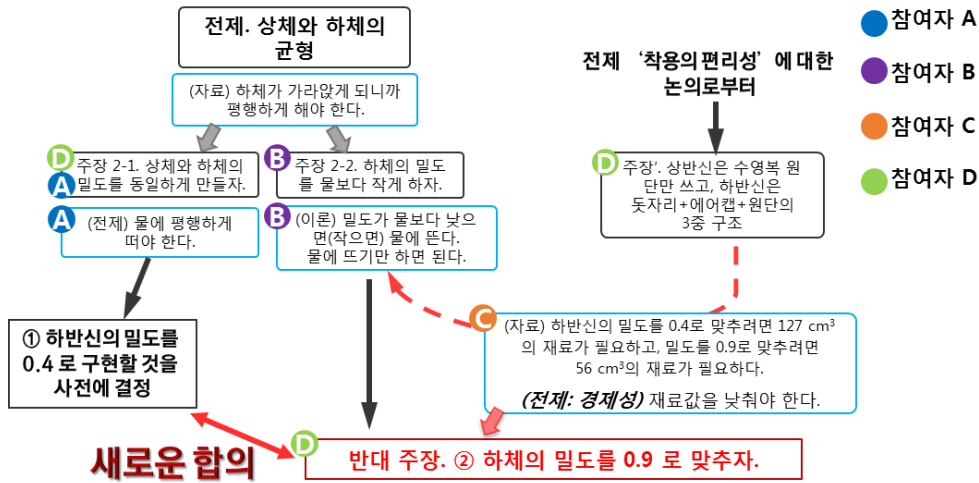
D 이게 밀도 0.9가 될 때...

A 그럼 밀도 0.9를 먼저 만든 다음에, 안뜨면은 이걸로 만들면 되지. 이걸로 만들고 뜨면 굳이 이걸로 할 필요 없잖아

<표 V-9>에 제시된 위 담화는 수영복의 재료를 구입하는 과정에서 참여자 D가 경제성 전제와 상하체의 균형 전제를 실현하기 위한 전략 사이에 충돌이 일어남을 발견하고 문제를 제기한 상황이다. 상체와 하체의 밀도를 동일하게 만들기 위해서 필요한 재료의 양은 하체의 밀도가 물보다 작게 만들기 위해 필요한 재료의 양에 비해 두 배 이상 많다. 따

라서 더 많은 재료가 필요하고, 이는 암묵적으로 공유하고 있는 전제인 경제성에 위배된다. 경제성에 위배되는 사실은 필요한 재료의 양을 계산을 통해 구하는 과정에서부터 도출되었으며, 자료를 통해 주장을 반박되었다. 또한 참여자들이 경제성을 암묵적인 전제로 활용하는 것은 프로그램에서 사용 가능한 금액을 제한하였기 때문으로, 구체적으로 구조화된 교수 전략이 논변 양상을 풍부하게 하였음을 알 수 있다.

상체와 하체의 균형이라는 전제를 실현하기 위한 기능과 경제성이 대립됨에 따라, <그림 V-19>에서 나타낸 바와 같이 앞서 합의된 주장을 추후에 반박하였다. 그리고 참여자 C, D가 동의함에 따라 앞선 논변활동의 대안 주장으로 변경하여 합의하였다. 앞서 언급한 다양한 요인의 고려가 실제로 재료를 구입해야 하는 단계에서 이루어졌으며, 사전에 합의한 내용일지라도 논변활동을 통해 평가하고, 반성하는 인식적 활동이 가능함을 보여준다. 과학 논변활동에서는 고려해야 하는 요인들이 이론과 실험 증거에 한정되어 있었다면, 디자인 논변활동에서는 고려해야 하는 요인이 확장되었고, 확장된 범위가 참여자들이 유의미한 추론이 가능한 영역에 있어, 주장의 반박과 합의가 더욱 동적으로 일어났다고 평가할 수 있다.



<그림 V-19> 전제 '상하체의 균형'을 위한 기능 결정에 전제 '경제성'이 평가 근거로 사용되어 주장의 변경되는 사례

DOE 단계 중, 평가 단계에서는 위의 사례처럼 전제를 달성하였는지 여부를 검증하는 활동이 일어남을 확인할 수 있었다. 1차 시범 적용의 결과, 초기에는 수영복을 입힌 모형이 물 위에 뜨지만 시간이 지날수록 점점 가라앉았다. 참여자들은 관찰과 동시에 상체와 하체의 균형의 관점에서 평가하여, 밀도의 균형이 깨졌음을 추론하였고, 바로 새로운 주장을 제기할 수 있었다. A가 점점 가라앉는 관찰을 다른 소집단의 구성원에게 전달하자, 바로 C는 해당 사항의 문제 요인을 발견하였고, 해결 방안을 쉽게 도출해 낼 수 있었다(표 V-10).

<표 V-10> 전제 '상하체의 균형'의 관점에서 평가한 1차 시범 적용 결과에 대한 담화

참여자	발화
모두	우와!! 떴다 떴어요.
A	근데 이거 빨리 빼야 돼. 점점 가라앉아..
C	물들어간다
A	여기 아래를.. 여기 아래를 더 막자.

Sampson & Blanchard(2012)은 과학적 맥락의 논변활동을 적용한 결과를 통해 합리적인 추론에 근거한 주장을 강조하였다. 현상에 대한 주장을 구성할 때, 단순한 전제와 단순한 주장의 연계는 추론의 과정을 경험할 수 없도록 만들기 때문에, 지양해야 하는 담화의 형태로 주장하였다. 즉, 특정한 상황을 가정하고 주장을 제기하는 것은 논리적 사고에 의한 결과물로 보기 어렵다는 것이다. 하지만, 본 연구의 일상적 맥락의 문제를 해결하는 상황에서 전제는 단순히 상황을 가정하는 용도로 사용되지 않았다. 디자인 문제를 해결하기 위해서는 필요성과 요구 사항을 분석해야 하고(Brown, 2008), 어떻게 요구 사항을 달성할 수 있을지 방법을 모색해야 한다. 본 연구에서 전제는 필요성과 방법을 연결하는 매개체로써 작용하였고, 그 이전에는 무엇이 필요할지에 대해 고민하는 과정에서 도출된 일종의 주장이었다. 주장을 통해 전제를 제기하고 평가하여 함의하는 과정은 명시적으로 드러나지 않지만, 소집단 내에서 암묵적

으로 합의가 된 사항으로 자리잡고 있는 것으로 판단할 수 있다. 합의가 된 주장인 전제는 이후의 디자인 과정에서 제기되는 문제 상황의 판단의 근거로서 사용되고, 또 합리적인 추론 과정을 유도하는 기반으로 작용하였다. 즉, 문제를 해결하기 위한 행동 양식을 결정하는 원리로써 작용하였다고 볼 수 있다. 이 때 과학적 원리 역시 중요한 전제로써 활용되었고, 영역 간 융합 프로그램이 과학 학습과 과학적 사고를 촉진할 수 있는 하나의 방법으로 적용될 수 있는 가능성을 보였다.

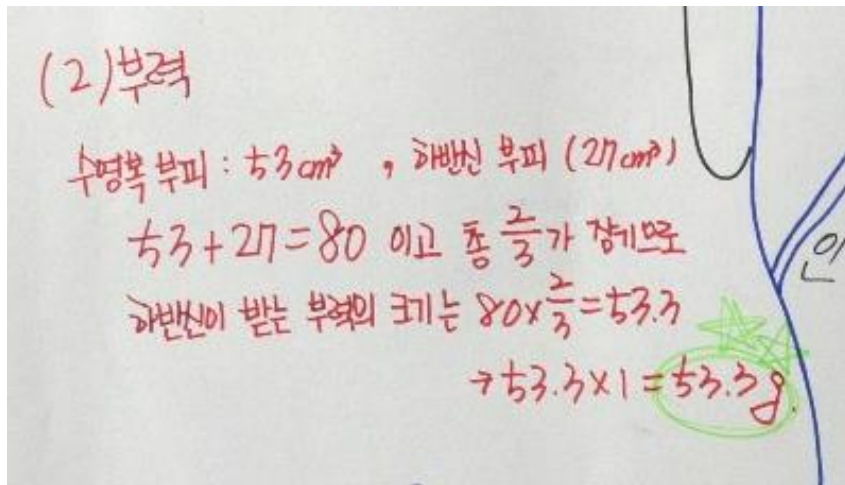
2.2.2 디자인 문제 해결 특징

디자인 문제를 해결하는 과정에서 특징을 살펴보면, 참여자들은 ‘실험 최적화 전략’과 동일한 양상으로 진행했다. 즉, 수영복을 이용하여 모형을 띄우기 위해 다양한 방법과 전략을 활용하여, 가장 적절하고 적합한 모형을 디자인하는 양상으로 진행되었다. 본질적으로 디자인의 진행 과정은 최적화된 산출물을 찾아내기 위한 평가와 반복, 상황에 따라 직관적인 해결책을 제안에 의해 이루어지는 종합적인 특성을 가지고 있음을 고려하면(Brown, 2008; 백윤수 등, 2011; 박문형, 2014), ATA 모형이 디자인의 특성을 잘 드러낸 과정으로 구성되었음을 확인할 수 있다. 참여자들이 디자인 과정에서 구성한 전략과 사고에 대해 살펴보고, 차이가 있는 다른 집단의 결과와 비교하였다. 한편 과학적 사고에 의한 문제 해결이나 주장 구성의 사례를 통해 과학적으로 일상적 맥락의 문제를 해결할 수 있는 능력 신장의 가능성을 확인하였다.

2.2.2.1 디자인 문제 해결중의 과학적 사고와 활동

이 절에서는 디자인 과정에서 참여자들이 진행한 과학적 활동을 통해 융합형 프로그램에서 과학적 사고가 어떻게 이루어질 수 있는지 살펴보려고 한다. 초점집단의 디자인 과정 분석을 통해 디자인 논변활동이 과학 학습, 과학적 사고와 밀접한 관련이 있음을 확인하였다. 이를 위해 살펴볼 사례는 홍보용 포스터 제작을 위해 수영복의 장점을 기술하는 과정에서 부력을 계산하는 과정이다. 또한 상하체의 균형을 맞추기 위한 논의에서 적용된 개념인 밀도의 활용에 대한 사례에서 디자인 활동을 탐구와 융합함으로써 드러난 사고의 특성과 전략도 살펴보려고 한다.

홍보용 포스터, 즉 쓰기 논변을 구성하는 과정에서 참여자들이 부력 개념을 어떻게 이해하고 적용하였는지 확인할 수 있었다. 홍보용 포스터는 최대한 다양한 근거를 이용하여 구매를 유도할 수 있는 설득이 목적이기 때문에, 참여자들은 중요한 전제 중에 하나인 상체와 하체의 균형을 달성할 수 있는 과학 원리인 부력 개념을 포함시켰다. 제작한 포스터의 부력 언급 부분을 살펴보면, 이전 시간에 구성한 부력에 대한 설명 모형이 과학적으로 타당하게 적용되었음을 알 수 있다. 부력의 크기를 계산하기 위해서는 물체가 매질 속에 들어갔을 때 밀어낸 매질의 양을 알아야 한다. 제작한 수영복을 모형에 입혀 물속에 넣었을 때, 밀어낸 부피를 계산한 결과는 아래 <그림 V-20>에서 볼 수 있듯이 총 53.3 cm³로 계산하였다. 따라서 받는 부력의 작용으로 인해 감소하는 무게는 밀어낸 매질의 무게에 해당하는 53.3 g으로 발표하였다.



<그림 V-20> 홍보용 포스터 구성을 위해 계산한 부력의 크기

53.3 g만큼 부력의 영향을 받았음을 증명하기 위해서는 부력의 계산 과정이 타당해야 한다. 부력의 크기를 구하기 위해 참여자들은 전체의 부피를 따로 측정하고, 그 중에 물에 잠기는 부피를 관찰하여 계산했다. 아래 <표 V-11>의 담화 양상을 살펴보면, 처음의 하반신 부피를 측정하고, 수영복 자체의 부피를 측정하여 총 부피를 구했다. 이어 물속에 잠긴 부피를 구하기 위해 수영복을 입힌 모형을 물에 띄우고, 얼마나 잠기는지 눈으로 관찰하여 계산했다. 비록 정확한 측정에 의한 계산은 아니지만, 타당성을 확보하기 위해 부력의 크기를 구하는 전략을 구성하고 계산했다. 한편, 계산한 부력의 크기는 수영복에 의한 부력의 크기만을 계산한 것은 아니라는 한계점이 있다. 이러한 한계에 대한 교사의 질문이나 조언은 더욱 설득력이 있는 주장 구성을 돕는 교수 지원 중 하나로 제안할 수 있을 것이다.

<표 V-11> 수영복을 입혔을 때, 작용한 부력의 크기를 계산하기 위한 전략과 수행 과정

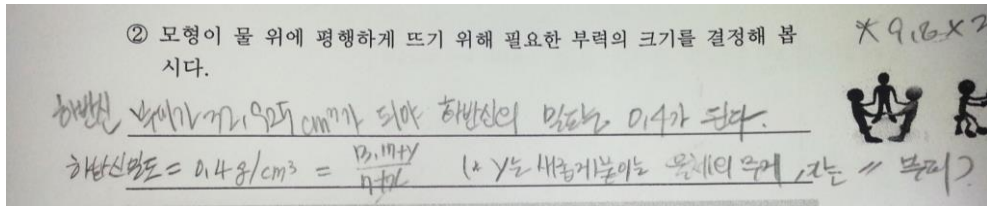
참여자	발화
B	부피가 27이라고?
D	어 원래 하반신 부피가.
B	그담에 이게.. 수영복.
D	수영복 무게가 20.39고 부피가 53이니까.. 수영복 입고 하반신...
B	부피가 얼마라고?
D	수영복? 53.
B	수영복 부피가 53이라고?
D	수영복 만.
...(중략)...	
C	몇이야?
D	몇이냐고 묻지마. 이제부터 계산해야 돼.
A	어디까지 잠겨?
D	여기는 여기까지. 수영복은 여기 밑에. 이걸 여기서까지

참겨.

A 그림 반정도 참겨

D 그거밖에 몰라. 요만큼 참겨.. 2/3가 참겨.

한편, 참여자들은 상체와 하체의 균형을 맞추기 위해 부력이 아닌 밀도의 개념을 지속적으로 활용하는 양상을 보였다. 실제로 상체와 하체의 균형을 맞추기 위한 전략에 대해 논의할 때에 밀도를 기준으로 주장을 공유하고 평가하였으며, 홍보용 포스터의 기능과 원리 항목에도 밀도의 변화를 강조하였다. 본 프로그램에서 제시한 과학 논변활동은 부력에 대한 것이지만, 디자인 활동에서는 다른 과학 개념을 적용한 것인데, 이는 물에 뜨고 가라앉는 현상을 설명하기 위해서는 부력 이외에도 밀도의 개념을 적용할 수 있기 때문이다. 따라서 동시에 적용 가능한 두 개의 과학 개념을 적용하였다고 볼 수 있다. 그런데, 밀도에 대해서는 참여자들이 아직 정규 교육과정을 통해 학습하지 않은 상태에서 개념을 적용하였다. 밀도는 현재 2009 교육과정에서 중학교 과정에 포함되어 있으며, 교과서를 기준으로 중학교 3학년의 1학기 중간 단원에서 학습하도록 되어있다. 본 연구의 참여자들이 중학교 3학년 학생들이고, 3월 말에서 4월 중순 사이에 수업이 이루어졌음을 고려하면, 밀도에 대해 아직 학습하지 않은 상태이다. 물에 뜨고 가라앉는 현상을 밀도를 통해 설명하고자 한 시도는 제한적이지만, 문제를 해결하기 위해 종합적인 사고를 보이는 사례로 평가할 수 있다. 이는 또한 앞선 첫 연구의 결과에서 확인한 실험 최적화 전략과 유사하다고 분석할 수 있다.



<그림 V-21> 상체와 하체의 균형을 위한 밀도의 크기를 결정하는 계산 과정

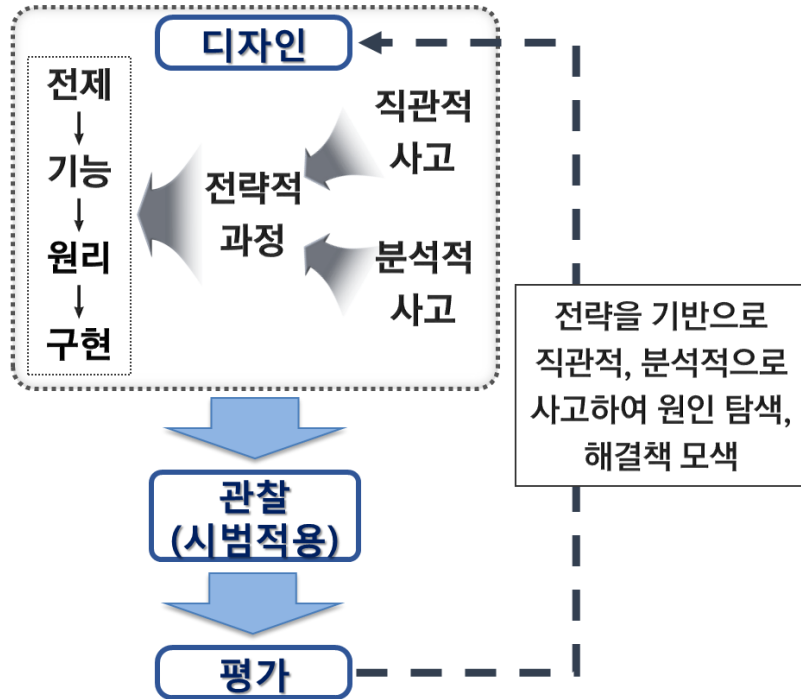
한편 밀도를 구하기 위한 계산을 정확하게 사용하는 사례를 확인할 수 있었다(그림 V-21). 즉 부피를 질량으로 나누어 주는 것이 밀도의 계산식인데, 초기에 상하체의 균형을 달성하기 위한 논변활동이나, 홍보용 포스터 제작 과정에서 정확한 계산식을 사용하였다. 밀도에 대한 개념이 정확하게 유의미하게 자리잡지 않은 상태에서 계산을 수행한 결과, 논변활동을 통해 소집단 내 동료들과 문제를 해결하는 과정에서 정확한 계산 방법과 과정을 이해하였음을 알 수 있게 해주는 자료이다. 따라서 ATA 모형에서 의도한 일상적 맥락의 문제 해결을 통한 과학 학습과 융합 학자들이 보이는 문제 중심적 사고를 촉발할 수 있는 가능성을 확인할 수 있다. 앞선 논의의 학습 이외에도, 위의 <그림 V-21>에서 하반신의 밀도를 낮추기 위해 필요한 추가 부피의 양을 계산하기 위해 수학에서 학습하는 방정식을 활용하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 밀도의 정확한 크기를 구해 과학적 타당성을 제시하기 위해서는 수학적 계산이 활용되어야 함을 학습자가 스스로 인지하고 활용하였거나 논의를 통해 학습한 것으로 이해할 수 있다. 이러한 학습의 양상은 박영근 등(2013)의 연구 결과와 같은 소집단 내 논의를 통한 학습이 제한적으로나마 일어난 것으로 제안할 수 있다. 더불어 위와 같은 사례는 디자인

문제를 해결하기 위해 과학적 원리를 적용하며, 종합적으로 사고하며, 과학적 원리의 적용 과정에서 수학적 계산으로 타당성을 입증한 사례라고 볼 수 있을 것이다.

2.2.2.2 디자인 문제 해결중의 최적화 전략

ATA 모형의 디자인 논변활동에 따라, 참여자들은 수영복을 성공적으로 제작했으며, 전략적인 과정을 수립할 수 있음을 확인하였다. 일상 맥락의 문제는 다양한 영역의 요인을 고려해야 하기 때문에, 성공적인 문제 해결을 위해서는 체계적인 전략과 절차를 수립해야 한다(Brown, 2008; 백윤수 등 2011; 이도현 등, 2014). 그 중에서도, 디자인의 과정은 적용과 통합적 사고를 통해 필요성 해소의 최적화된 방안 모색을 중요하게 고려해야 한다. 본 연구의 ATA 모형의 적용 프로그램이 제안하는 과정에 따라 참여자들은 전략을 체계적으로 수립하고, 최적화 과정을 진행하였음을 보여주었다. <그림 V-22>는 수영복을 디자인하는 논변활동의 과정과 전략을 도식화한 것이다.

디자인 논변활동: 디자인 최적화



<그림 V-22> 디자인 논변활동의 과정과 디자인 최적화 전략

디자인 논변활동의 결과는 최적화된 디자인을 구성하기 위해, 직관적으로 사고하고, 분석적으로 사고하여 수영복을 제작하기 위한 전략을 구성한 것으로 해석할 수 있다. 물에 뜨기 위한 목적을 갖는 수영복을 디자인하기 위해 전제를 결정하고, 기능을 합의하며, 원리를 적용하고 구현하는 일련의 과정이 단계적으로 진행된 것은 전략적으로 사고하여 과정을 구성함을 의미한다. 앞선 디자인 논변활동의 결과에서 상하체의 균형을 이루기 위해, 하체에 부력으로 보조하기 위한 수영복 내부 구조를 결정하는 과정은 전제와 기능의 결정에 해당했다. 또한 필요한 재료의

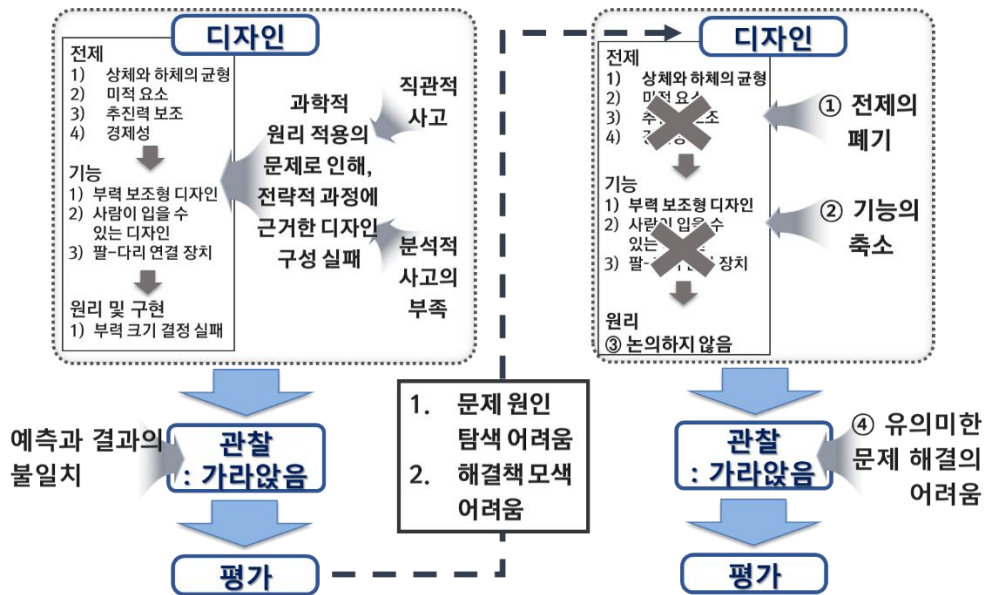
양을 구체적인 수치로 적용하는 과정은, 참여자들이 원리와 구현의 단계를 연속적으로 진행하였음을 나타낸다. 위와 같은 일련의 단계는, ATA 적용 수업의 1차 DOE 과정에서 기능, 원리, 구현의 세 단계로 구분한 결과에 의한 것으로 추론할 수 있다.

한편, 구체적으로 디자인을 구성하는 과정에서 참여자들은 직관에 의해 의견을 제기하고, 분석적인 사고를 통해 뒷받침 하는 것으로 볼 수 있었다. 참여자들은 무엇이 사용자에게 필요한지 분석적으로 사고하고, 실현할 수 있는 방법을 직관적인 사고에 기반하여 제시하였다(류시경과 박종석, 2009). 또한 직관적으로 제기한 의견을 뒷받침 할 수 있는 구체적인 원리와 수치를 근거로 사용하는 과정에서는 분석적인 사고와 과정에 의해 진행하였다. 이처럼, 유기적이고 순환적인 사고의 흐름에 의한 전략 구현은 자신들의 수영복에 대한 정확한 이해와 의도하는 바를 달성할 수 있다는 확신을 심어주었다.

또한 체계적으로 수립된 전략은 물에 모형을 띄우는 관찰 단계에서 예상하지 않은 결과가 나타났을 때, 문제 해결에 도움을 주었다. 예상하지 않은 결과인 물에 가라앉는 결과가 나타났을 때, 밀도에 근거하여 타당하게 계산하였으므로 과학적 원리 적용에는 문제가 없다고 판단하였다. 따라서 참여자들은 구현하는 과정에서 문제가 발생하였기 때문에 물에 가라앉았다고 평가할 수 있었으며, 방수 기능의 필요성을 중요한 기능으로 새롭게 선정할 수 있었다. 자신들의 전략과 추론을 되돌아봄으로써, 발생한 문제의 주요 요인을 직관적이고 분석적으로 발견할 수 있으며, 빠르고 적절하게 해결책을 모색할 수 있다. 이와 같이 전략적인 과정은 문제발견의 과정에서 적절성을 논의하고, 적절성을 갖춘 문제를 형성하는 다양한 문제의 생성에 도움이 되어, 빠르게 최적화된 문제발견에 이

르는 것을 지원하였다고 평가할 수 있다.

<그림 V-23>에 제시한 디자인 최적화 과정이 체계적으로 구성되지 않는 경우에는 산출물 제작에 어려움을 겪거나, 발생하는 문제를 해결하기 어렵다. 이러한 사례는 다른 집단의 사례를 통해 살펴볼 수 있었다. <그림 V-23>은 디자인의 중간 과정에서 과학적 원리를 타당하게 적용하지 못한 집단의 사례이다.



<그림 V-23> 디자인 최적화 전략 수립 실패 집단의 수영복 디자인 사례

<그림 V-23>의 사례에서 디자인 최적화 전략의 진행 과정이 적절하지 못한 경우의 문제 해결을 살펴볼 수 있다. 이 집단의 경우, 전제와 기능을 합의하는 과정까지는 적절한 추론과 직관적 사고를 통해 논의를 거쳐 진행하였다. 하지만 과학적 원리인 부력이나 밀도를 제대로 적용하지 못함으로써, 어떻게 실제 구현할 것인지 체계적으로 결정하지 못하였다. 얼마의 재료를 사용하는 것이 타당한지, 상반신과 하반신 중, 어디에 부력의 효과를 집중할 것인지에 대해 논의하지 못했고, 우선 제작하고 결과를 토대로 반성하는 것에 합의하여 진행하였다. 하지만, 제작한 수영복을 입힌 모형이 가라앉는 예측과 결과의 불일치 상황에서 이 집단의 경우 무엇이 문제의 원인인지 탐색하지 못하였으며, 따라서 해결책을 쉽게 모색하지 못했다. 체계적으로 분석한 결과가 아닌, 다양한 방법을 단순히 반복하는 시범 적용으로 활동을 진행하였으며, 이는 <표 V-12>에서 볼 수 있듯이, 사전에 합의한 전제인 미적 측면과 추진력 보조, 경제성을 폐기하고, 기능을 축소시켜, 유의미한 문제 해결의 경험을 제공하지 못했다.

<표 V-12> 디자인 최적화 전략 수립 실패 집단의 전제 폐기와 기능 축소 사례의 담화

참여자	발화
H	우리 막 했지? 그냥.
F	아니면 뜰 수 있게 그냥 다리를 평퍼짐하게 만드는 게 더 나을 것 같은데? 뭘 의미인지 알지? 이게 왜 붙어있어?

- E 근데 저거 아깝잖아. 써야 될 천들인데.
- F 그거 뭐냐. 바지를 사람 다리가 이렇게 있으면 여기를
이런 식으로, 이렇게 해서 이만큼을 아까 그걸로 쓰고,
어차피 접었다 폈다 못하는 사람이니까.
- H 그냥 애를 위한 배를 만들어 볼까?
- F 그냥 큼지막하게 해서 이러면 충분히 뜰 거 같아. 이거
내가 장담하고 떠. 진짜 장담하고.
- H 그래서 그걸 너가 입을 거야?
- F 나 안입어. 어차피 하반신 마비니까 그렇게 해도 상관없지
않나?
-

위의 사례처럼 하나의 단계가 유의미하게 진행되지 못한 경우에는, 문제 해결 과정 중에서 어떤 과정과 요인이 핵심인지 판단하기 어렵다. 핵심에 대한 이해 부족은 문제의 주요 요인을 발견할 때까지 지속적인 반복 작업을 요구하며, 최적화된 디자인을 위해 논의할 기회를 상대적으로 제한한다. 최적화를 위해서는 유동적이고 유기적인 전략과 절차에 따라, 분석적이고 직관적인 사고를 통합하여 논의할 수 있는 기회가 충분히 필요하다. 이러한 필요성이 충족되지 못한 사례는, 문제 해결의 전략 수립의 중요성과 더불어, 분석적 사고에 의한 문제 접근의 필요성을 강조한다. 직관적인 해결책 도출은 그 자체만으로는 타당성을 획득하기 부족하며, 적합한 근거를 통한 설명과 결합하여 통합적인 접근이 필요하다.

이러한 결과는 단순한 시행착오를 통한 디자인 작업은 성공적인 산출물 획득을 보장하지 못한다는 Apedoe & Schunn의 연구(2013)와 일치하는 결과이다. 따라서 증거나 근거를 토대로 추론하고 타당성을 검증하는 경험이나, 적절한 과학적 이론의 적용으로 안내하고 지원할 수 있는 학습이 같이 제공되어야 할 것이다.

3. 요약

본 연구에서는 문제 해결력 신장을 위하여 비구조화된 문제가 강조된 프로그램으로 ATA 모형을 구성하고, 적용 수업을 개발하였다. ATA 모형은 논변활동을 과학 실험실 맥락에서 확장하여, 일상적 맥락의 문제에서도 합리적인 근거에 기반하여 논의하고 문제를 해결할 수 있도록 학습 환경을 구축하는 학습 모형이다. 이를 위해 논변활동의 문제로 구체적이고 융합적인 상황이 필요하고, 지원하기 위한 다양한 방안이 필요했다. 선행 연구들을 통해 도출한 ATA 모형의 개발 원리들은 구체적인 상황과 과정을 제시하고 다양한 지원이 가능해 적용하기 용이하도록 구성하였다.

개발 원리는 ATA 과정, 문제와 과제, 학습 자료, 교수 지원의 네 가지 영역으로 범주화했다. ATA 과정은 협력적으로 문제를 해결하기 위해 주장을 구성하고, 분석하여 평가할 수 있는 과정을 세부 원리로 조직하였고, POE-DOE 순환 과정을 통해 구현하였다. 문제와 과제는 비구조화되고, 일상 생활 맥락의 문제를 활용하여 다양한 의견 도출이 가능한 환경을 구성하고자 하였다. 학습 자료는 학습자들이 논변활동 중에 사용할

수 있는 사전에 개발된 지원 체계로, 시각화 도구, 데이터베이스, 시뮬레이션, 포트폴리오, 의사소통 도구들을 포함하였다. 마지막으로 교수지원 은 교사가 원활하고 풍부한 논변활동을 지원하기 위해 구성한 사항으로, 인지적 지원, 메타인지적 지원, 사회적 지원, 피드백으로 구성하였다. 개발 원리에 근거하여 '부력'과 '하반신 마비 장애인'을 돕기 위한 보조 수영복 만들기' 문제를 해결하는 융합 논변프로그램을 제안하였다.

개발한 ATA 모형 적용 프로그램을 대학교 부설 영재원에 참여하고 있는 중학교 3학년 학생들에게 적용하여 논변담화와 문제 해결 전략을 기반으로 분석하였다. 분석 결과를 토대로 문제 해결 과정에서 드러난 인식론적 활동의 특징과 과학 지식의 사용에 대해 파악하였다. 총 12시간의 수업으로 구성된 활동을 통해 학습자들은 부력과 관련된 문제 현상과 수영복 디자인 활동을 수행하였다. 각 수업은 모두 녹음 및 녹화하여 전사하였고, 학습자들이 작성한 활동지와 함께 문제 해결 양상을 조사하기 위한 분석 자료로 사용하였다. 부력과 관련된 무게 측정의 네 가지 상황의 분석을 통해, 논변활동을 통한 이론과 실험 증거의 조정과정을 범주화하고 추론 과정을 분석하였으며, 수영복 디자인 활동의 분석을 통해 일상 맥락의 문제 해결 전략과 과정, 과학 지식의 적용을 분석하여 ATA 모형의 적용 효과를 확인하였다.

학습자들은 부력과 관련된 문제 상황의 해결을 통해 과학적으로 정교화된 설명 모형으로 부력과 관련된 현상을 설명할 수 있었다. 특히, 학습자들이 부력에 대해 과학적인 개념을 학습할 수 있도록 의도적으로 인지갈등, 즉 이론과 실험 증거의 불일치를 유도한 경우는 핵심적인 단계로 작용하였다. 각 단계의 결과들을 비교하는 과정에서 촉발되는 이론과

실험 증거의 불일치 상황에서 참여자들은 설명 모형을 이론적으로 확장하여 다양한 현상에 적용할 수 있도록 정교화된 모형을 구성한 결과가 나타났다.

학습과정을 구체적으로 살펴보면, 이론과 실험 증거의 불일치가 일어나는 경우 중, 이론에 기반하여 평가해 증거를 조정한 사례는 두 번으로, 풍선에 드라이아이스를 넣고 부피가 증가할 때 무게를 측정하는 상황이었다. 첫 번째로 학습자들은 부피가 증가해도 측정한 무게는 변화가 없을 것이라고 예상하였으나, 실제 결과는 차이가 있어 인지 갈등이 유발되었다. 현상을 설명하기 위하여 질량 보존의 법칙이 적용되지 않는 확장된 설명 모형과, 기체가 풍선을 통해 빠져나갔다는 자료의 해석 중, 논변활동을 통해 후자로 합의하여, 질량 보존의 법칙으로 현상을 설명하는 인지적 활동을 수행했다. 마지막 문제 해결 과정에서 풍선에 드라이아이스를 넣고 무게를 측정해도 변화가 없는 실험을 설계하고 검증하는 실험을 수행했으나, 결과는 미세하게 감소한 활동에서 두 번째 이론 기반 평가가 나타났다. 닫힌 공간에서는 부력이 작용하지 않기 때문에 무게가 일정할 것이라는 설명 모형을 유지하면서, 닫힌 공간에서 미세하게 기체가 빠져나갔을 것이라는 평가로 의견을 합의하였다.

부력의 과학적 원리를 이해하기 위해 구성한 두 가지 초자를 활용한 물속에서의 무게 측정 상황의 비교 문제를 해결하는 과정에서, 참여자들은 증거를 기반으로 설명 모형을 확장하여 현상을 설명하였다. 부력이 작용하는 것은 물체가 매질 속에 들어가면 그 위치에 존재하던 매질을 밀어내 해당하는 양만큼 측정 무게가 감소하는 것에 기인한다. 이 상황을 가시적으로 드러내기 위해 가지 달린 삼각플라스크에 추를 넣어 넘친 물의 양과 부력이 작용하여 감소한 무게 측정값이 동일한 실험 결과를

설명함으로써 부력에 대해 정확한 이해에 도달할 수 있다. 학습자들은 일반 삼각플라스크에서는 물이 밖으로 넘치지 않기 때문에 동일한 설명 모형으로 해석이 불가능하다고 추론하여 갈등 상황에 놓였고, 교사가 두 상황을 설명하는 인지적 지원을 제공받은 이후에, 논의를 거쳐 성공적인 설명 모형에 도달할 수 있었다. 최종적으로 두 상황을 종합하여 저울 위에서 물이 누르는 힘이 분산되면 부력이 작용하는 설명 모형을 구성하였다. 물이 플라스크의 가지를 통해 밖으로 배출되는 현상과 저울 위에서 옆으로 밀려나는 상황은 동일한 상황이지만, 후자의 경우 가시적으로 드러나지 않기 때문에 어려움을 겪은 것으로 해석할 수 있으며, 이에 대한 적절한 인지적 지원이 필요했던 것으로 확인하였다. 이외에 이론과 실험 증거가 일치하여 갈등이 없었던 경우와 제시된 자료에 대해 단순한 수학적 설명으로 의견을 모으고 종료된 사례가 각각 한 번씩 있었다.

이후에 진행된 수영복 디자인 활동에서는 일체형으로 하반신에만 부력을 보조하는 형태로 산출물을 제작하였는데, 디자인의 요구를 드러내는 전제를 선정하여 활발한 논변활동을 수행하고, 문제 해결을 달성하였다. 특히 전제를 구성하는 과정과 전제에 기반한 디자인을 결정하고 과학적 원리를 적용하는 과정에서 활발한 논의 양상이 나타났다. 또한 DOE의 관찰 단계인 시범 적용의 결과를 통해 제작한 수영복을 뒷받침하는 근거들을 체계적으로 제시하고, 문제 해결 과정을 드러내는 쓰기 논변을 논리적으로 구성하였다.

학습자들은 전제를 순환적이고, 다양한 문제 해결 맥락에 영향을 주는 복합적인 체계로 사용하였다. 과학 논변활동에서 이론이 차지하던 역할과 비슷한 역할을 수행한 전제는 평가의 기준이 된 측면에서 이론과 유사하지만, 합의가 이루어져 사용하기로 한 전제는 평가의 대상이 되지

않았다는 측면에서 일부 차이점이 있었다. 수영복 디자인 활동에서 사용된 전제는 상체와 하체의 균형, 착용의 편리성, 경제성, 미적 측면으로, 전제를 달성하기 위한 기능과 디자인의 의사결정에서 드러났고, 주장의 근거로 활용되었다. 전제는 학습자들 사이에서 암묵적으로 공유되고 있었으며, 첫 단계로 기능을 결정하는 단계에서 명시적으로 드러났다. 예를 들어 착용의 편리성을 달성하기 위해 탈부착형과 일체형 수영복으로 주장을 제시하였고, 그 중 일체형 수영복으로 합의하는 논변활동을 수행하였다. 상체와 하체의 균형을 맞추는 것은, 보조 수영복의 기본적 기능이라는 측면에서 참여자들이 모든 과정에서 중요하게 고려했다. 참여자들이 홍보문의 핵심적인 요소로 강조한 연구 결과는 이러한 해석을 뒷받침했다. 미적 측면 전제는 수영복의 디자인 요소를 추가하기 위한 논의에서 확인할 수 있었다. 사용 금액의 제한을 둠으로써 제기된 경제성 전제는 사용하는 재료의 양을 결정하고, 상하체의 균형 전제에 의해 결정된 기능을 반박하여 대안 주장으로 합의하는데 핵심적인 평가 근거로서 사용되는 것을 확인하였다. 이러한 사례는 디자인 활동에서 분석적 사고에 의해 활동이 진행됨을 뒷받침하는 증거로 제시할 수 있었다.

학습자들의 디자인 과정은 분석적 사고와 더불어 직관적 사고가 ATA 모형의 DOE 및 세분화된 디자인 단계와 결합하여 전략적인 과정으로 진행되었다. 특히 DOE의 디자인(Design) 단계를 전제, 기능, 원리, 구현의 단계로 세분화하여 인식하고, 각 단계에 기반하여 평가하는 디자인 최적화 전략은 성공적인 문제 해결에 도움이 되었다. 특히 예상과 결과가 일치하지 않는 경우, 각 단계와 자신들의 전략을 기반으로 직관적이고 분석적으로 사고하여 원인을 탐색하고, 해결책을 모색하는데 도움이 되었다. 한편, 과학적으로 원리를 적용하는데 어려움이 있었던 다른

집단의 사례를 통해, 직관적인 사고와 분석적인 사고를 동등하게 강조해야 함을 확인하였다. 특히 적절한 과학적 원리를 적용하거나, 타당하게 추론할 수 있는 경험이 비구조화된 문제의 해결에 도움이 될 것으로 예상할 수 있으며, ATA 모형과 같은 융합 프로그램의 필요성을 강조할 수 있다.

한편, 학습자들은 ATA 모형의 디자인 활동을 수행하는 과정에서 학습한 부력의 개념과 다른 영역의 지식을 유의미하게 적용하였으며, 새로운 개념을 학습하기도 하였다. 제작한 수영복의 효과를 검증하기 위하여 부력을 측정하기 위한 전략을 구성하여 논리적으로 타당한 설명을 만들어냈다. 또한 수영복이 목표로 하는 밀도를 계산하기 위해 방정식을 활용하고, 적용함으로써 지식의 유의미한 적용을 보여주었다. 밀도 개념에 대해 대부분의 연구 참여자가 정규 교육과정에서 학습하지 않은 상황임을 고려하였을 때, 밀도를 이용하여 뜨고 가라앉는 현상을 설명한 것은 제한적이지만, 자기주도적 학습을 촉발할 수 있는 방법으로 일상적 맥락의 문제가 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다. 본 연구의 결과는 융합적 활동을 통한 개인의 역량 신장을 꾀하는 교수학습 전략에 하나의 방향성을 제시할 수 있을 것이다.

VI. 결론 및 제언

1. 결론

과학 탐구는 과학 지식의 습득에서 과학에 대한 이해를 달성할 수 있는 포괄적인 교수학습 전략으로 강조되고 있다. 그 중에서 과학 교과的重要한 목표로 제시되고 있는 과학적인 사고를 통한 문제 해결력 향상을 위하여, 실질적인 문제 해결을 가능하게 하는 탐구를 이용하고 경험할 수 있어야 한다. 과학자가 수행하는 과학 탐구는 이론과 증거를 조정하는 인식적인 활동과, 자신의 의견을 동료들에게 설명하고 설득하는 정당화의 사회적 활동을 포함하여 복합적인 과정으로 진행된다. 따라서 실질적인 과학 탐구를 통한 과학 학습이 가능하도록 우리 주변의 현상에 대해 추론하고, 탐구를 평가하고 반성할 수 있도록, 과제를 구성하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 실질적인 탐구를 가능하게 하는 방안을 도출하기 위해 학습자들의 문제 해결을 분석하고, 결과로부터 의미 있는 문제 해결의 지원 방안을 도출하였다. 그 중, 핵심은 학습자들이 과학자와 유사한 맥락에서 활동할 수 있는 문제 상황으로, 본 연구에서는 논변활동과 비구조화된 문제를 강조한 탐구 프로그램을 제안하였다. 이를 뒷받침하기 위하여 과학적 맥락의 문제를 해결하는 탐구 프로그램, 사회적 활동을 강조하기 위한 과학 논변 프로그램을 개발, 적용하여 학습자들의 결과로부터 시사점을 도출하였다. 연구 결과로부터 도출된 시사점들을 근거로 하

여, 실질적인 사고를 촉진하여 다양한 맥락의 문제를 해결할 수 있도록 돕는 ATA 모형을 구성하였고, 부력과 수영복 제작이 융합된 형태의 활동으로 적용하였다. 각 연구는 각각의 사례에 학습자들의 활동에 연구자가 참여, 관찰하는 질적 연구 방법을 이용하여 수행하였다. 세 연구의 사례를 통해, 이론과 증거의 조정을 개인이 아닌 소집단 내에서 과학적 담화를 이용하여 풍부하게 진행할 수 있음을 확인하였다.

첫 번째 연구는 과학적 맥락에서 구현된 탐구 문제를 해결하기 위해 21명의 대학생들이 수행한 탐구 과정과 결과를 분석하였다. 참여자들은 닫힌 공간 안에 물과 소금물을 충분한 시간 동안 두었을 때, 예상되는 결과에 대해 추론하고, 결과를 통해 평가하였다. 연구 결과에 의하면, 학습자들이 탐구를 수행하는 과정은 실험 최적화 전략과 확장된 문제 형성 전략으로 구분할 수 있었다. 실험 최적화 전략은 예상한 결과에 부합하는 증거를 얻기 위하여 실험 설계를 반복하거나, 새로운 방법으로 설계하는 방법으로 진행하는 탐구에 해당했다. 확장된 문제 형성 전략을 사용한 집단은 새로운 문제발견을 통해 구성한 새로운 설명 모형을 검증하는 과정으로 탐구를 수행했다.

두 전략은 평가의 기준과 의사소통의 목적 및 방법에 차이가 있었다. 실험 최적화 전략을 활용한 집단의 경우, 이론에 기반한 평가만을 진행하였으며, 효과적인 실험 전략이나 발견한 변인, 도구를 공유하기 위한 목적의 담화를 활용하였다. 이러한 탐구 과정과 결과는 이론과 실험 증거가 불일치한 상황에서 증거만을 반박하며, 설명모형의 수정 가능성을 타진하는 것의 어려움을 보고한 이선경 등(2012)의 연구 결과와 일치한다. 즉, 과학 지식을 넘어 과학 자체의 학습을 위한 과학적 사고와 논의가 아닌, 이론의 검증만을 위한 탐구 실험의 측면에서 많은 비판을 받고

있으며(Kirschner et al., 2006), 열린 탐구의 한계를 명백히 드러낸다(Millar, 1998; Sadler et al., 2010).

직관적으로 문제 해결 과정에서 이론과 증거를 비교하고 평가할 수 있을 것으로 기대되는 숙련자와 다르게, 초보자나 초보 과학자의 경우 다양한 시행착오를 거쳐 어렵게 도달한다(Hmelo-Silver *et al.*, 2002). 이 시행착오의 과정을 통해 실천적 지식으로 내재할 수 있는 가능성을 획득하기 때문에 그 실행과 평가를 위한 기회가 주어져야 한다. 또한 하나의 문제를 해결하기 위해서는 중간 과정에서 수없이 접하는 소규모의 문제를 해결해야 하는 것이 문제 해결에서 중요하게 고려해야 하는 요소이기도 하다. 다만 실제 필요한 학습은 사고의 과정을 경험하여 추론을 반성적으로 돌아봐 적절성을 평가하며, 주장 구성의 전략과 방법을 구축하는 것임을 고려해야 한다. 소규모의 문제 해결에 집중하느라 핵심이 되는 문제에 접근하지 못한 참여자들의 연구 결과를 살펴보면, 지속적으로 문제의 핵심을 인지하고 접근하도록 유도해야 한다. 따라서 이러한 과정에 집중할 수 있는 프로그램을 제안하는 것이 필요하다.

확장된 문제 형성 전략 집단의 결과는 실험실 내 활동이 무엇을 논의하게 할 것인지에 대한 방향을 제시한다. 이 집단은 증거를 패턴으로 일반화하기 위해 실험실 내 담화에 참여하였으며, 증거 기반의 평가를 수행함으로써 설명 모형의 수정을 완료하였다. 일반화 된 증거로 변환을 위해 귀납의 방식을 활용한 것으로 평가할 수 있으며(Lawson, 2004), 권위나 확립된 지식이 아닌 경험과 실험으로부터 구성한 추론의 중요성을 강조한 이선경 등(2013)의 연구 결과와 유사한 사례로 평가할 수 있다. 즉, 이론의 생성 과정을 경험할 수 있을 것으로 기대되는 과정을 문제 해결과 새로운 문제발견으로 이루어냈다고 평가할 수 있으며, 이러한

결과는 증거로부터의 추론을 강화해야 함을 시사한다(이규호와 권병두, 2010; 이선경 등, 2013). 따라서 확인과 검증을 위해 진행되는 양상의 실험으로 진행되는 현재의 탐구에서 벗어나(박현주, 2013), 이론과 증거를 평가하고 반성하는 담화가 중심이 되는 교수학습 전략이 필요함을 제안할 수 있다. 이러한 시사점에 기반하여 논변활동을 강조한 탐구 실험의 성공적인 적용을 위한 방안 도출의 연구를 수행하였다.

두 번째는 과학적 맥락의 문제를 해결하기 위해 논변활동이 강조된 탐구 프로그램의 개발과 쟁점에 대한 연구이다. 논변활동 촉진에 목표를 둔 두 번째 연구는 개발한 프로그램을 시범 적용하고, 학습자들의 논변 양상과 문제 해결 양상을 검토하여 수정 쟁점을 도출하는 과정으로 진행하였다. 기체의 온도와 부피 간의 관계에 대한 탐구 실험을 중심으로 구성한 논변 프로그램은, 기체의 온도와 부피가 비례하지 않은 결과가 나타나는 원인과 관련된 문항을 중심으로 구성하였다. 프로그램의 진행 과정은 POE 학습 모형의 과정을 이용하여 개발하였다.

연구 결과에 의하면, 열린 탐구 형태로 제시한 1차 프로그램의 사례에서는 최대한 많은 요인들을 발견하여 모두 해결하는 것을 목표로 하여 심도 깊은 논의가 이루어지지 못했다. Sampson & Blanchard(2012)의 연구와 다르게 논리적 측면에서 오류가 거의 나타나지 않은 주장 구성의 결과는, 주제의 난이도나 접근성 측면에서는 문제가 없음을 의미한다(Sandoval & Millwood, 2005). 이는 즉, 다른 의견에 대해 평가하고 설득하기 위한 논변의 사회적 측면에 학습자들이 익숙하지 않음을 시사한다. 현상을 관찰한 결과를 이론과 연계하여 설명하기 위해 집단 내에서 검증하고 합의하는 과정이 과학적 논변활동의 목적임을 고려하면(김희경과 송진웅, 2004), 이론과 증거의 관점에서 논의가 이루어지고, 합의할

수 있는 형태의 과제 제시가 필요함을 확인할 수 있었다.

합의에 도달할 수 있도록 과제를 구조화하고, 의견합의를 드러낸 2차 프로그램 이후의 결과는, 사회적 측면에서의 논변 촉진 방법으로 활용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구와 유사한 관점에서 접근한 대립되는 상황을 명시적으로 제시하는 형태의 활동은 대표적인 방안으로 도움이 될 수 있다(Keogh & Naylor, 1999; Jonassen & Cho, 2011). 더불어 명시적으로 찬성과 반대 입장을 나누거나, 참여자들 간에 서로 다른 근거들을 이용하여 논의하는 교수학습 방법들이 효과를 거두고 있어(Weinberger & Fischer, 2006), 프로그램 구성에서 고려할 수 있는 전략이 될 수 있다. 다만, 의도적으로 상황을 구조화하는 방법은 수업의 목표와 내용에 따라 사용 여부를 신중히 결정해야 할 것이다.

POE 단계에 따라 분석한 논변 양상에 의하면, 실험 결과는 그 자체가 논변의 소재가 되어 결과가 나타난 원인에 대한 논변활동을 이끌기도 하였다. 하지만 사전에 충분한 논의를 거쳤다고 참여자들이 암묵적으로 공유하는 경우에는, 합의된 주장을 결정하는 핵심적인 근거의 역할로만 사용이 제한되었다. 대립되는 주장이 의견 합의에 도달하지 못하고 결과를 확인하는 상황에서 하나의 주장이 자료에 의해 반박된다면, 반박된 주장의 입장을 가지고 있던 참여자들은 자료의 문제점에 대해 짚어보고, 상황에 따라 반박을 고려할 수 있을 것이다. 하지만 이러한 시도의 부족은, 더 높은 수준의 논의를 이끌기 위하여 교사의 지원이나 다른 지원 체계에 의해 연속적인 평가와 검증으로 학습자들을 이끌 수 있는 전략이 필요함을 시사한다(Azevedo *et al.*, 2003).

앞선 두 연구의 결과를 기반으로 ATA 모형을 구성하여 중학생 대상의 문제 해결 프로그램을 개발하였다. ATA 모형은 일상 생활에서 접할

수 있는 문제에 대해 증거를 얻고, 평가하여 문제를 해결하도록 제작한 융합 프로그램으로, 논변활동을 강조하였다. 일상적 맥락의 문제로서 비구조화된 문제를 강조한 ATA 모형의 구현을 위하여, 앞선 논변 촉진 방안의 쟁점인 논변 주제의 구조화와 의견합의 유도 방안을 적용하였다. 이론과 실험 증거를 비교할 수 있는 주제를 활용하였으며, 실험 도구적 측면의 논의를 배제하기 위하여, 동영상 자료를 통해 실험을 지원하였다. 의견합의를 유도하기 위해, 과학 논변활동에서는 논변 과제로 적합한 형태로 평가 받는 찬성과 반대로 입장을 정의할 수 있는 유형의 문제를 이용하였다(Keogh & Naylor, 1999). 디자인 논변활동에서는 합의에 기반한 협력적 문제 해결을 강조하기 위하여, 제한된 자원이라는 제한 상황을 적용하였다(Jin & Geslin, 2010; Suh, 2006). 한편, 나머지 하나의 쟁점인 실험 결과를 활용한 논변 유도를 위해, 이전 단계에서 획득한 자료를 활용할 수 있도록 문제 상황을 개념이 정교해지는 순서로 세분화하여 제시하였다. 적용 프로그램으로 영재원 과정에 있는 중학생을 대상으로 부력과 장애인 보조 수영복 제작을 융합한 문제를 제시하였고, 결과를 분석하였다. 과학 논변활동의 분석은 이론과 증거의 조정에 따른 개념의 정교화에 초점을 맞추었으며, 디자인 논변활동의 경우는 디자인 산출물에 대한 합의와 결과물, 시범 적용과의 관계에 초점을 두었다. 두 상황은 모두 논변 담화 분석 도구를 이용하여 세부적인 상호작용을 살펴보았다.

연구 결과에 의하면 참여자들은 부력이 작용하는 현상을 접해 이론과 증거가 불일치하는 상황에 놓였을 때, 증거의 문제점을 제기하거나, 설명 모형을 확장하는 논변활동을 수행했다. 설명 모형을 확장함으로써 최종적으로 부력에 대해 과학적 개념을 습득하였다. 한편, 수영복 제작을

위해 과학 개념이나 원리를 중요한 전제로 선정하고, 이에 기반하여 평가하거나 의사소통에 참여하는 특성을 발견하였다. 디자인 문제를 해결하는 참여자들의 과정은 직관적이고 분석적인 사고를 통해 전략적인 과정을 구성하는 디자인 최적화 전략으로 명명할 수 있었으며, 과학 논변 활동 과정에서 이론과 증거를 비교하기 위한 분석적 사고를 주로 사용하는 것과 차별화된 전략으로 이루어진 것으로 평가할 수 있었다. 한편, 과학 개념을 이용하여 일상생활의 문제를 해결하는 과정에서 학습한 지식을 능동적으로 활용한 결과는 융합적 사고를 촉진할 수 있는 가능성을 보여주었다.

주장을 구성하고 평가하여 합의에 이르는 과정을 통해 성공적으로 두 영역의 문제 해결을 달성한 결과는 ATA 모형의 효과를 증명한다. 다양한 요인이 영향을 미쳐 복잡하게 이루어지는 실험 환경에서 과학적 사고에 기반한 논변활동과 문제 해결을 달성하는 것은 쉽지 않다(Kuhn, 2004). 따라서 이를 지원하기 위한 프로그램 체계나 지원 방법을 많은 학자들은 고민하고 제시하고 있다(Simon *et al.*, 2006; Quintana *et al.*, 2004). 다양한 선행 연구들을 기반으로 구성된 ATA 모형의 과정, 문제와 과제, 학습 자료, 교수 지원은 논변에 기반한 문제 해결을 지원하는 데 도움이 되었다. 특히 과학 영역에서 부력의 개념을 학습하기 위해 단계를 세분화하여 POE로 구성한 과정은 실험 결과를 지속적으로 활용하는 논변활동에 도움이 되었으며, 단계를 세분화하는 것이 인지적 지원이 될 수 있음을 입증하였다(Quintana *et al.*, 2004). 더불어 실험의 동영상 지원은 실험의 신뢰도를 높여 실험증거와 이론의 비교와 평가에 초점을 두고 활동을 수행하게 하며, 수준 높은 주장 구성을 가능하게 하였다(Osborne *et al.*, 2004). 또한 디자인의 영역으로 확장한 문제 해결은 논

변에 대한 이해와 모형 구성 등의 영역 일반적 지원을 가능하게 할 수 있다.

실질적으로 도움이 되는 프로그램 체계를 구성하기 위해서는, 문제를 해결하기 위해 필요한 영역 특수한 성격의 지원과 영역 일반적인 지원이 필요하다. 두 측면의 적극적인 지원이 이루어지는 경우, 단순히 각 지원의 합이 아닌 Tabak(2004)이 정의한 '상승적 지원'이 가능하다. 특히 McNeill & Krajcik의 연구(2009)에서와 같이, 논변활동을 활용한 문제 해결 프로그램에서 영역 특수한 성격의 지원, 즉 인지적 지원이 설명 모형 구성, 추론과 같은 영역 일반적인 지원과 같이 이루어지는 경우, 그 효과가 배가가 될 것이다. 이를 위해 ATA 모형에서 적용한 디자인 문제의 융합은 상승적 지원을 위한 하나의 방안이 될 수 있다. 비구조화된 특성을 갖는 디자인 문제는 전문적인 지식이나 기능 없이 해결이 가능한 영역의 문제에 해당한다. 따라서 협력적 문제 해결을 위해 의견을 제기하는 과정, 증거를 획득하고 이에 기반하여 평가하는 과정을 지원할 수 있는 영역 일반적 지원의 하나로 고려할 수 있을 것이다. 이는 논변의 사회적 과정에 익숙하지 않은 참여자들에게 논변에 대해 이해할 수 있도록 지원하여, 이에 기반한 학습을 가능하게 할 것이다(Simon *et al.*, 2006). 특히 앞선 연구 1과 연구 2에서 나타난 결과인 이론에 편향된 평가에서 벗어날 수 있게 해줄 수 있으며, 이는 Nussbaum 등(2008)이 언급한 논변활동에 대한 과학의 인식론적 신념의 영향을 적게 받으며 활동에 참여할 수 있도록 돕는 긍정적 영향을 제공할 것이다.

ATA 모형에서 사용한 디자인 영역과의 융합은 일상적 맥락의 문제를 실험실 환경에서 해결할 수 있는 가능성을 제시한다. 일상적 맥락의 문제 중에서 특히 디자인 영역을 활용한 연구는 Fortus 등(2005)이 제

시한 Design-Based Science(DBS), Apedoe 등(2008)이 제시한 Design-Based Learning(DBL), Kolodner 등(2003)이 제시한 Learning by Design(LBD)과 유사하다. 이 연구들은 디자인 문제를 적용한 학습 모형, 혹은 프로그램으로 과학 학습의 효과를 보고하고 있다. 그리고 학습자들에게 과학 혹은 공학에 대한 흥미를 유발하였다는 결과는 ATA 모형을 통한 학습에 흥미를 표현한 본 연구의 결과와 유사한 측면이다. 세부적으로, DBS와 DBL은 디자인의 과정에 새로운 과학 지식을 적용하거나, 기존에 가지고 있는 지식을 적용함으로써 개념을 습득하고 적용함으로써 내재화하는 효과를 보고하고 있다. 또한 과학 개념의 이해와 더불어 과학의 절차적 기능의 신장을 보고하고 있어, 디자인 문제의 맥락에서 과학을 어떻게 적용할지 시사점을 제공했다. 하지만, 이 두 연구의 경우, 디자인 문제를 공학적 설계의 성격으로 제시함으로써 과학적 원리를 어떻게 적용할지에 초점을 두었다. 이러한 성격의 문제의 경우에는 비구조화된 문제로 평가하기 어려우며, 본 연구에서 제시한 ATA 모형과 차이가 있다고 볼 수 있었다. LBD는 ATA 모형과 가장 유사한 성격으로 구성한 모형이다. 특히 공학적 설계로 디자인을 한정하지 않고 확장된 의미를 적용하여, 일반적인 디자인의 정의를 제시한 측면이 유사하다. 과학 학습, 과학의 절차적 기능과 협력적 능력의 효과를 제시한 Kolodner의 연구(2003)는 디자인 문제를 활용한 수업이 어떤 가능성을 갖는지 드러낸다. 이러한 선행 연구의 결과는, LBD의 복잡한 과정을 단순화하였다는 측면에서, ATA 모형의 적용 가능성을 평가할 수 있게 한다.

ATA의 적용 프로그램에 대한 본 연구는 앞선 선행 연구들과 같이 학습의 효과를 검증하지는 못했다는 한계가 있으나, 비구조화된 문제를

해결하는 과정에 대해 상세하게 분석하였고, 분석 결과를 기반으로 학습자들의 합리적인 의사결정의 가능성을 확인하였다. 특히 디자인 문제 해결 과정에서, 과학적 원리에 대한 이해와 사고의 부족이 유의미한 문제 해결에 어떤 장애로 작용하는지 드러낸 연구의 의미를 발견할 수 있다. 이와 관련하여, 단순 시행착오에 의한 디자인 과정은 효과적이지 않지만, 변인의 통제와 같이 일반적인 과학적 방법이라고 평가되는 전략이 항상 성공적인 결과를 보장하지 않았다는 Apedoe & Schunn의 연구(2013)와 비교할 수 있는 추후 연구가 필요할 것이다. 따라서 ATA 모형에서 제시하는 과정에 의해 구성된 전략 이외에도 다양한 전략에 근거한 디자인 과정의 탐색이 필요할 것이다. 이를 기반으로 비구조화된 문제의 해결과 학습의 연계성을 밝히는 작업이 이루어져야 할 것이다.

2. 제언

본 연구에서 얻은 결론을 기반으로 하여 얻은 함의는 다음과 같다.

첫째, 경험적인 연구 결과를 토대로 한 반성적인 논의를 거쳐 탐구 프로그램을 조직함으로써, 문제 해결 프로그램이 고려해야 하는 개발 원리를 제안하였다. 그 중에서도 문제 해결력 향상을 위해 과학적 요소들에 관한 논의를 활성화해야 한다는 연구 결과를 토대로, 실천에 옮길 수 있는 구체적인 전략을 제시하였다. 탐구를 통한 학습을 위해서는 적절한 수준의 문제와 지원이 필요하다는 것은 여러 선행연구를 통해 강조되었다. 본 연구의 프로그램들은 이러한 필요성을 다양한 상황에서 적용하여 수업의 맥락에서 고려해야 할 사안들을 끌어냈으며, 이를 기반으로 성공

적인 학습을 위한 탐구활동으로 사용될 수 있을 것이다. 학습자들의 실제 학습 결과를 미시적으로 분석하여 수정 조직한 프로그램 개발 과정은, 교수학습 전략을 구성할 때 하향식 방법뿐만 아니라, 상향식 방법이 적용된 사례를 제공한다는 것에 의미가 있다.

둘째, 이론과 증거가 일치하지 않은 문제 상황을 논변활동과 연계한 방안은, 이론과 증거에 기반하여 설명 모형을 구성하고 평가하며, 수정 함으로써 유의미한 문제 해결의 경험을 제공할 수 있다. 그 중에서도 비구조화된 문제는 인지 갈등을 유도하여, 다양한 의견이 제안될 수 있고, 그 중에 가장 적절한 의견을 평가하는 과정을 경험하게 함으로써 유의미한 학습을 이끌 수 있다. 각 연구의 참여자들이 제시한 설명 모형과 탐구의 결과물은 피상적인 이해에서부터 높은 수준의 추론에 근거한 이해까지 다양하게 나타났다. 하지만 전반적으로 의사소통과 평가, 반성을 통해 적절한 설명 체계로 나아감을 확인하였고, 학습자들이 갈등 상황에 놓였을 때, 갈등을 해소하고 적절한 설명 체계를 구성하기 위해 다양한 인지적인 활동을 수행함을 확인하였다. 따라서 논변활동과 연계하여 구성하는 탐구 활동은 비판적인 사고를 신장할 수 있음을 제안하며, 최종적으로 학습자들의 문제 해결력을 증진할 수 있는 뒷받침이 될 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구에서 사용한 ATA 모형의 결과는 일상적 맥락으로 확장된 융합형 프로그램을 적용하고 평가하기 위한 방안을 제시할 수 있다. 무엇보다 융합적 사고를 촉진하기 위한 다양한 시도와 연구들이 진행되는 가운데, 논변을 강조한 융합 프로그램을 실제 적용 가능한 형태의 수업을 제공한다는 것에 의의가 있다. 더불어 본 연구에서 분석한 결과는 융합형 활동을 평가하기 위한 도구를 개발하는데 도움이 될 것이다. 특

히 참여자들이 융합 프로그램을 수행하는 과정에서 다양한 전제에 근거하여 평가하고 의사소통에 참여한 결과는, 하나의 특징적인 영역이 아니라, 다양한 영역에 근거하여 평가해야 함을 시사한다. 따라서 적절한 개념의 적용 여부와 같은 개념 위주의 평가보다는 추론의 적절성 여부와 같은 논리적 측면의 평가가 필요할 것이다. 소집단 내 담화에 근거하여 참여자들의 이해를 확인하고, 문제 해결 과정을 평가할 수 있는 분석 과정을 제시한 본 연구의 결과는 융합 프로그램의 적용과 평가에 대한 하나의 관점을 제시한다는 것에 의미가 있다.

본 연구는 앞서 언급한 바와 같이, 대학생, 교사, 영재원 과정 중학생과 같이 서로 다른 집단의 참여자들을 상대로 진행하였으며, 제한된 숫자의 참여자들을 대상으로 진행한 사례 연구이기 때문에 일반화하기에는 한계가 있다. 이에 본 연구의 결과로 제시한 확장된 문제 형성에 대하여 문제발견의 관점에서 분석하는 것이 필요하며, 설명 모형의 이론적 확장을 가능하게 하는 요인에 대한 분석이 추가적으로 필요하다. 학습자의 개인적 요인, 프로그램 구성의 요인, 문제의 형식과 내용에 따른 문제 해결 양상의 연구를 제안할 수 있으며, 학습 결과와의 관련성을 검토해야 할 것이다. 이를 기반으로 유의미한 학습을 위한 문제 해결 프로그램 구성 방안을 논의해야 한다. 위와 같은 연구의 한계와 향후 제언점을 고려하여 다음과 같은 추후 연구를 제안한다.

첫째, 본 연구는 제한된 숫자의 참여자들을 대상으로 진행하였기 때문에, 각 연구 결과를 참여자의 일반적인 집단의 특성으로 확장하여 설명할 수 없다. 또한 문제 해결을 확인하기 위하여 소수의 참여자들을 대상으로 분석하였기 때문에, 다양한 배경을 가진 학습자들을 대상으로 각 프로그램을 적용하고 문제 해결 과정과 인식적 활동을 조사할 필요성이

있다. 특히, 집단 내 리더의 유무, 집단 내 상호작용의 수준과 같은 구성 집단의 요인과 사용하는 추론의 유형, 메타인지적 사고의 가능성, 인식론적 신념 등의 다양한 학습자 요인에 의하여 문제 해결 과정에 차이가 있을 것이다. 이와 같이 다양한 사례의 학습자를 대상으로 하는 추후 연구가 필요할 것이다.

둘째, 본 연구에서 제안하는 ATA 모형의 적용은 영재원 과정의 학습자들을 대상으로 진행된 연구로 수업의 적용이 자유로운 환경에서 이루어졌기 때문에, 일반적인 학교의 상황과는 차이가 있다. 일반적인 학교 상황에서는 장시간 동안 하나의 주제에 대해 초점을 두고 수업을 구성하기 어려운 상황을 고려하여, 학교 현장에서 적용할 수 있는 프로그램과 수업을 구성할 필요성이 있다. 또한 영재원 과정에 있는 학습자들은 일반적인 학습자보다 인지적 수준이나 과제 집착력이 높다고 평가할 수 있다. 따라서 일반적인 학습자들을 대상으로 분절된 수업 상황에서 적용하는 것을 고려하여 학습자들의 문제 해결을 지원할 수 있는 방안을 구성하고 조사할 필요가 있다.

셋째, 다양한 문제 상황이 적용된 연구를 통해 ATA 모형의 효과를 다각도로 검증하고, 일반화하는 연구가 필요하다. 부력과 수영복 제작은 장기간의 연구를 통해 연계한 소재들로, 제한적인 상황에서만 ATA 모형을 적용할 수 있다. 보편적인 교수학습 전략으로 발전하기 위해서는 디자인, 기술적 맥락에서의 문제 이외에도 공학, 경제, 윤리와 같은 다양한 영역의 문제들과 결합한 프로그램을 구성하여 문제 해결 전략을 확인하는 조사가 필요하다. 더불어 ATA 모형에 근거한 수업을 토대로 학습자들이 실질적인 학습을 달성하였는지 검증하는 연구도 추가로 진행될 필요가 있다. 추가적인 연구를 토대로, ATA 모형을 기반으로 하는 프로

그럼을 문제 해결 중심의 사고를 촉진하기 위한 전략과 새로운 방향으로 제안할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 장은희, 김찬중, 최승언, 유준희, 박현주, 이신영, & 김희백 (2012). 심장 혈액 흐름의 모형 구성 과정에서 나타난 소집단 상호작용과 소집단 규범. 한국과학교육학회지, 32(2), 372-387.
- 교육과학기술부 (2010). 창의인재와 선진과학기술로 여는 미래 대한민국. 2011년 업무 보고. 교육과학기술부.
- 교육과학기술부 (2011). 2009 개정 교육과정에 따른 과학과 교육과정. 교육과학기술부.
- 국립국어연구원 (1999). 표준국어대사전. 서울: 두산동아.
- 권혁수, & 박경숙 (2009). 공학적 디자인: 과학, 기술, 공학, 수학교육의 촉진자. 과학교육연구지, 33(2), 207-219.
- 김성원, 정영란, 우애자, & 이현주 (2012). 융합인재교육(STEAM)을 위한 이론적 모형의 제안. 한국과학교육학회지, 32(2), 388-401.
- 김수희, & 정광순 (2011). 교실수업 이해를 위한 상황학습론 탐색. 초등교육학연구, 18(1), 23-47.
- 김이영, & 김지나 (2012). 중학생들의 부력에 대한 개념 분석. 과학교육연구지, 36(2), 369-380.
- 김정효, & 안도 교우이치로 (2013). 과학과 예술의 융합에 기초한 STEAM 교육의 가능성과 과제: 한국 STEAM 교육의 원리와 수업 구상의 검토. 미술교육논총, 27(1), 123-152.
- 김진수 (2007). 기술교육의 새로운 통합교육 방법인 STEM 교유의 탐색. 한국기술교육학회지, 7(3), 1-29.
- 김희경, & 송진웅 (2004). 학생의 논변활동을 강조한 개방적 과학탐구

- 활동 모형의 탐색. 한국과학교육학회지, 24(6), 1216-1234.
- 노상우, & 안동순 (2012). 초등학교 융합인재교육(STEAM)의 발전 방향 모색. 교육종합연구, 10(3), 75-96.
- 류시경, & 박종석 (2009). 과학영재들의 과학탐구문제발견 활동의 유형 및 특징 분석. 중등교육연구, 57(2), 59-83.
- 맹승호, 박영신, & 김찬중 (2013). 논증 담화 분석 연구의 방법론적 고찰: 논증활동의 협력적 구성과 인식적 실행의 분석을 중심으로. 한국과학교육학회지, 33(4), 840-862.
- 박문형 (2014). 디자인적 사고의 전 분야 스펠오버 효과를 위한 융합디자인 활성화 제안, 14(1), 161-170.
- 박승재, & 윤혜경 (2000). 확장적 과학 탐구 활동을 통한 중학생의 탐구 동기 변화. 한국과학교육학회지, 20(1), 137-153.
- 박연실 (2005). 디자인론에서 “불의의 문제” 연구. 한국디자인학회 학술발표대회 논문집, 2005(5), 328-329.
- 박영근, 윤세열, Hand, B., Therrien, W., & Shelley, M. (2013). 논의를 강조한 탐구 학습법에 따른 초등학교 통합학생의 과학과 수학 학업성취도 및 비판적 사고력과의 관계 분석. 특수교육재활과학연구, 52(4), 411-434.
- 박영신 (2006). 교실에서의 실질적 과학 탐구를 위한 과학적 논증 기회에 대한 이론적 고찰. 한국지구과학회지, 27(4), 401-415.
- 박종원, 장병기, 윤혜경, & 박승재 (1993). 중학생들의 빛과 그림자에 대한 증거 평가. 한국과학교육학회지, 13(2), 135-145.
- 박지연, & 이경호 (2008). 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형의 효과: 고등학생의 원운동 관련 기초 개념과 정신모형의 발달 측면에서. 한국과학교육학회지, 28(4), 302-315.

- 박지영, & 김희백 (2012). 사회 속 과학 쟁점에 대한 소집단 논변 상호 작용 분석을 위한 방법론 고찰. 한국과학교육학회지, 32(4), 604-624.
- 박현주 (2013). 중학교 과학교사의 실험수업 실태 및 인식 조사. 과학교육연구지, 37(1), 79-86.
- 박현주, 김영민, 노석구, 정진수, 이은아, 유은정, 이동욱, 박종원, & 백윤수 (2012). 과학교육 내용표준 개발. 한국과학교육학회지, 32(4), 729-750.
- 백윤수, 박현주, 김영민, 노석구, 박종윤, 이주연, 정진수, 최유현, & 한혜숙. (2011). 우리나라 STEAM 교육의 방향. 학습자중심교과교육연구, 11(4), 149-171.
- 손정우, & 허민영 (2013). 미술활동과 연계한 과학실험활동이 초등학생의 자기주도학습능력과 창의적 성격에 미치는 영향, 과학교육연구지, 37(1), 68-78.
- 신호심, & 김현주 (2012). 문제해결형 탐구실험에서 나타난 영재학생들의 논의 양상 및 논의활동에 대한 인식. 한국과학교육학회지, 31(4), 567-586.
- 양일호, 이효정, 이효녕, & 조현준 (2009). 과학적 논증과정 평가를 위한 루브릭 개발. 한국과학교육학회지, 29(2), 203-220.
- 오현석, 김희정, 배형준, 서동인, & 김한솔 (2012). 융합학문 어떻게 탄생하는가? 교육문제연구, 43, 51-82.
- 윤선미, & 김희백 (2011). 소집단의 논변활동을 위한 과학 탐구 과제의 개발과 적용. 한국과학교육학회지, 31(5), 694-708.
- 윤희진 (2013). 혁신적 디자인을 위한 창의적 사고와 융합 교육에 관한 연구. 브랜드디자인학연구, 11(4), 79-92.

- 윤희숙, & 정대홍 (2006). 끓는점 오름 현상에 대한 학생, 예비교사, 화학교사의 개념 분석. 한국과학교육학회지, 26(7), 805-812.
- 이규호, & 권병두 (2010). 지구과학적 현상의 특성을 고려한 추론 중심 탐구수업 모형 제안. 한국지구과학교육학회지, 31(2), 185-202.
- 이도현, 윤지현, & 강성주 (2014). 집단 창의성 교육을 위한 방안으로서 과학 교육에 디자인적 사고의 도입과 속성 탐색. 한국과학교육학회지, 34(2), 93-105.
- 이선경, 이규호, 최취임, & 신명경 (2012). 예비 초등교사의 과학 탐구 글쓰기 활동에서 나타난 이론과 증거의 조정 과정 분석. 한국과학교육학회지, 32(2), 201-209.
- 이선경, 최취임, 이규호, 신명경, & 송호장 (2013). 초등 과학 수업 담화에서 나타나는 과학적 추론 탐색. 한국과학교육학회지, 33(1), 181-192.
- 이수덕, 민희정, & 백성혜 (2012). 뜨고 가라앉는 현상에 관련된 과학 영재 교육프로그램이 영재학생들에게 미치는 효과 분석. 교사교육연구, 51(2), 153-168.
- 이수아, 전영석, 홍준의, 신영준, 최정훈, & 이인호 (2007). 초등 교사들이 과학 수업에서 겪는 어려움 분석. 초등과학교육, 26(1), 97-107.
- 이신영, 김찬중, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, & 김희백 (2012). 소집단 상호작용에 따른 심장 내 혈액 흐름에 대한 소집단 모델 발달 유형과 추론 과정 탐색. 한국과학교육학회지, 32(5), 805-822.
- 이지영, & 김희백 (2011). 갈등 상황에서 구성된 중학생들의 소집단 논변활동 유형. 한국생물교육학회지, 39(2), 235-247.
- 이재석, & 이봉우 (2010). 부력에 대한 초중등 학생들의 개념 분석. 새

- 물리, 60(2), 93-99.
- 이혜주 (2005). 구조화 정도가 다른 문제 상황에서 문제발견에 대한 제 변인의 상대적 기여도 분석. *초등교육연구*, 18(2), 123-148.
- 이효녕, 조현준, & 손정주 (2009). 학교과학교육에서의 논증활동 활용에 대한 교사들의 인식. *한국과학교육학회지*, 29(6), 666-679.
- 장은경, 고운, & 강성주 (2012). 모델링 탐구 활동에서의 대학생의 모델링 유형 분석 및 인식. *한국과학교육학회지*, 32(1), 1-14.
- 정주혜, & 김효남 (2013). 초등 과학영재와 일반학생의 과학 탐구 문제 발견 과정 분석. *교육과학연구*, 44(1), 123-145.
- 조선아, & 강훈식 (2013). 불일치 상황의 활용을 통한 초등 과학영재학생들의 과학에 대한 인식론적 신념 분석. *한국과학교육학회지*, 33(2), 328-344.
- 한국일보 (2013). “장애인도 힘차게 물살을” 수영 보조기구 만든 서울대생들. Retrived January 10, 2013, from <http://news.hankooki.com/lpage/society/201301/h2013011002361421950.htm>
- 한수진, 이인혜, 강석진, & 노태희 (2011). 위기 상황에서의 대처 전략을 통한 초등교사들의 과학에 대한 인식론적 신념 연구. *초등과학교육*, 30(1), 61-70.
- 한수진, 최숙영, & 노태희 (2012). 중학생들의 과학 탐구에 대한 인식론적 견해. *한국과학교육학회지*, 32(1), 82-94.
- 한혜진, 이태훈, 고현지, 이선경, 김은숙, 최승언, & 김찬중 (2012). 과학영재의 논증 활동에서 나타나는 반박 유형 분석. *한국과학교육학회지*, 32(4), 717-728.
- 황선미, & 정대홍 (2013). 기체발생 과정에서 질량 확인 실험의 문제

- 및 개선 방안. *현장과학교육*, 7(1), 25–37.
- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H.-L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419.
- Abrams, E., Southerland, S. A., & Evans, C. A. (2007). *Inquiry in the science classroom: Realities and opportunities*. Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1993). *Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report*. New York: Oxford University Press.
- Allenby, B. (2001). Earth systems engineering and management. *IEEE Technology and Society Magazine*, 19(4), 10–21.
- Alozie, N. M., Moje, E. B., & Krajcik, J. S. (2010). An analysis of the supports and constraints for scientific discussion in high school project-based science. *Science Education*, 94(3), 395–427.
- Apedoe, X. S., Reynolds, B., Ellefson, M. R., & Schunn, C. D. (2008). Bringing engineering design into high school science classrooms: the heating/cooling unit. *Journal of Science Education and Technology*, 17(5), 454–465.
- Apedoe, X. S., & Schunn, C. D., (2013). Strategies for success: uncovering what makes students successful in design and learning. *Instructional Science*, 41(4), 773–791.
- Atkins, J. M., & Helms, J. (1992) Testing in mathematics and science – for everyone. TIMSS document reference ICC413/NPC061.

- Vancouver: TIMSS International Coordinating Centre.
- Azevedo, R., Cromley, J. G., Thomas, L., Seibert, D., & Tron, M. (2003). Online process scaffolding and students' self-regulated learning with hypermedia. A paper presented at *the annual conference of the American Educational Research Association*, Chicago, IL.
- Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. In L. Wilkerson & W. Gijsselaers (Eds.), *Bringing problem-based learning to higher education: Theory and practice. New Directions For Teaching and Learning Series, No. 68* (pp. 3-12). San Francisco: Jossey-Bass.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation: The opinions expressed herein are those of the authors and not necessarily those of the National Science Foundation. *Science education*, 93(1), 30.
- Berry, A., Gunstone, R., Loughran, J., & Mulhall, P. (2001). Using Laboratory Work for Purposeful Learning about the Practice of Science. In H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Gräber, M. Komorek, A. Kross & P. Reiska (Eds.), *Research in science education – Past, present and future* (pp. 313-318). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Press.

- Buchanan, R. (1992). Wicked problems in design thinking. *Design Issues*, 8(2), 5–21.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science education*, 94(4), 577–616.
- Brewer, W. F. (2008). In what sense can the child be considered to be a "little scientist"? In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 38–50). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 32–42.
- Brown, T. (2008). Design Thinking. *Harvard Business Review*, 86(6), 84–92.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86, 175–219.
- Chinn, C. A., & Samarapungavan, A. (2008). Learning to use scientific models: Multiple dimensions of conceptual change. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 191–225). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Cho, Y., & Brown, C. (2013), Project-based learning in education:

- integrating business needs and student learning. *European Journal of Training and Development*, 37(8), 744–765.
- Christiaans, H., & Almendra R. A. (2010). Accessing decision-making in software design. *Design Studies*, 31(6), 641–662.
- Clark, D., & Sampson, V. (2008). Assessing dialogic argumentation in online environments to relate structure, grounds, and conceptual quality. *Journal of Research on Science Teaching*, 45(3), 293–321.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Historical research. A chapter in research methods in education*, (5th ed.), (pp. 158–168). New York: Routledge Falmers.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453–494). Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Collins, H., Evans, R., & Gorman, M. (2007). Trading zones and international expertise. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 38(4), 657–666.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379–1401.
- Crawford, T., Kelly, G.J., & Brown, C. (2000). Ways of knowing beyond facts and laws of science: An ethnographic investigation of student engagement in scientific practices. *Journal of*

- Research in Science Teaching*, 37(3), 237–258.
- Crawford, B.A., Zembal–Saul, C., Munford, D., & Friedrichsen, P. (2005). Confronting prospective teachers' ideas of evolution and scientific inquiry using technology and inquiry–based tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 613–637.
- Davis, E. A., & Linn, M. C. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 819–837.
- de Vries. E., Lund, K., & Baker, M. (2002). Computer Mediated Epistemic Dialogue: Explanation and Argumentation as Vehicles for Understanding Scientific Notions. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 63–103.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5–12.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Duschl, R. A. (2003). The assessment of argumentation and explanation: Creating and supporting teachers' feedback strategies. In D. L. Zeidler (Ed.), *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education* (pp. 239–161). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (2008). *Teaching scientific inquiry:*

- Recommendations for research and implementation*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Erduran, S., & Mugaloglu, E. Z. (2013). Interactions of economics of science and science education: Investigating the implications for science teaching and learning. *Science & Education*, 22, 2405–2425.
- Erduran, S., & Jiménez–Aleixandre, M. P. (2008). *Argumentation in science education: Perspectives from classroom–based research*. Dordrecht: Springer.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin’ s argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915–933.
- Fortus, D., Krajcik, J., Denshimer, R. C., Marx, R. W., & Mamlok–Naaman, R. (2005). Design–based science and real–world problem solving. *International Journal of Science Education*, 27(7), 855–879.
- Fraser, B., J. (1978). Development of a Test of Science–Related Attitudes. *Science Education*, 62(4), 509–515.
- Garrison, D. R., & Arbaugh, J. B. (2007). Researching the community of inquiry framework: Review, issues, and future directions. *Internet and Higher Education*, 10(3), 157–172.
- Giere, R. N. (1997). *Understanding scientific reasoning* (4th ed.), Fort Worth: Harcourt, Brace, Jovanovich.

- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83–97.
- Gorman, M. E. (2004). Collaborating on convergent technologies education and practice, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1013, 25–37.
- Hand, B., Lawrence, C., & Yore, L. D. (1999). A writing in science framework designed to enhance science literacy. *International Journal of Science Education*, 21(10), 1021–1035.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 655–675.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026.
- Hmelo–Silver, C.E., Duncan, R., & Chinn, C. (2007). Scaffolding and achievement in problem–based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.
- Hmelo–Silver, C. E., Nagarajan, A., & Day, R. S. (2002). “It’ s harder than we thought it would be” : a comparative case study of expert–novice experimentation. *Science Education*, 86(2), 219–243.
- Hmelo–Silver, C. E., & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing expert and

- novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science*, 28(1), 127–138.
- Hodson, D. (2009). *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Hofstein, A. (2004). Providing high school chemistry students with opportunities to develop learning skills in an inquiry-type laboratory: A case study. *International Journal of Science Education*, 26(1), 47–62.
- Hofstein, A. & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science education*, 88(1), 28–54.
- Holmegaard, H. T., Madsen, I. M., & Ulriksen, L. (2013). A journey of negotiation and belonging: Understanding students' transitions into higher education science and engineering. *Cultural Studies of Science Education*, 10.1007/s11422-013-9542-3.
- Hug, B., & McNeill, K. L. (2008). Use of first-hand and second-hand data in science: Does data type influence classroom conversations. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1725–1751.
- Hung, P.-H., Hwang, G.-J., Lee, Y.-H., & Wu, T.-H. (2011). The problem-refining progress of 5th graders' ubiquitous inquiry.

International Journal of Mobile Learning and Organisation,
5(3/4), 255–267.

Hunter, A.-B., Laursen, S.L., & Seymour, E. (2007). Becoming a scientist: The role of undergraduate research in students' cognitive, personal and professional development. *Science Education*, 91(1), 36–74.

Jiménez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 3–28). Dordrecht: Springer.

Jiménez-Aleixandre, M. P., & Pereiro-Munhoz, C. (2002). Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management. *International Journal of Science Education*, 24(11), 1171–1190.

Jiménez-Aleixandre, M. P., & Pereiro-Munhoz, C. (2005). Argument construction and change while working on a real environment problem. In K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijklhof (Eds.), *Research and the quality of science education* (pp. 419–431). Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Jin, Y., & Geslin, M. (2010). A study of argumentation based negotiation in collaborative engineering design. *International*

- Journal of Artificial Intelligence for Design, Analysis, and Manufacturing*, 24(1), 35–48.
- Jin, Y., & Lu, S. (2004). Agent-based negotiation for collaborative design decision making. *Annals of the CIRP*, 53(1), 122–125.
- Jonassen, D. H. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45(1), 65–94.
- Jonassen, D. H., & Cho, Y. H. (2011). Fostering argumentation while solving engineering ethics problems. *Journal of Engineering Education*, 100(4), 680–702.
- Jonassen, D. H., & Kim, B. (2010). Arguing to learn and learning to argue: Design justifications and guidelines. *Educational Technology: Research & Development*, 58(4), 439–457.
- Jonassen, D. H., Strobel, J., & Lee, C. B. (2006). Everyday Problem Solving in Engineering: Lessons for Engineering Educators. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 139–151.
- Karmiloff-Smith, A. (1988). The child is a theoretician, not an inductivist. *Mind & Language*, 3(3), 183–195.
- Kelly, G. J., Drucker, S., & Chen, K. (1998). Students' reasoning about electricity: Combining performance assessment with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 20(7), 849–871.
- Kelly, G. J., & Takao, A. (2002). Epistemic Levels in Argument: An Analysis of University Oceanography Students' Use of

- Evidence in Writing. *Science Education*, 86(3), 314–342.
- Keogh, B. & Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: An evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431–446.
- Khishfe, R., & Abd–El–Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry oriented instruction on sixth graders views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551–578.
- Kim, M. & Tan, A.–L. (2011). Rethinking difficulties of teaching inquiry–based practical work: stories from elementary pre–service teachers. *International Journal of Science Education*, 33(4), 465–486.
- Kintgen, E. R. (1988). Literacy, literacy. *Visible Language*, 1(2/3), 149–168.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem–based, experiential, and inquiry–based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), 661–667.
- Kolodner, J. L. (1997). Educational implications of analogy: A view from case–based reasoning. *American Psychologist*, 52(1), 57–66.

- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S., & Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design into practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 495–547.
- Kolodner, J. L., Dorn, B., Thomas, J. O., & Guzdial, M. (2012). Theory and practice of case-based learning aids. In D. Jonassen, & S. Land (Eds.), *Theoretical foundations of learning environments* (2nd ed.), (pp. 142–170). New York, NY: Routledge.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P., Marx, R., Bass, K., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3), 313–350.
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319–337.
- Kuhn, D. (2004). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 371–393). Malden, MA: Blackwell.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O’ Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skill*. San Diego, CA: Academic Press.
- Kuhn, D., & Katz, J. (2009). Are self-explanations always beneficial? *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(3), 386–394.
- LaBanca, F. (2008). Impact of problem finding on the quality of

- authentic open inquiry science research projects. Doctoral Thesis. Western Connecticut State University. UMI Number: 3411366.
- Land, S. M., & Zembal-Saul, C. (2003). Scaffolding reflection and articulation of scientific explanations in a data-rich, project-based learning environment: An investigation of progress portfolio. *Educational Technology Research and Development*, 51(4), 65-84.
- Lawson, A. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1387-1408.
- Lawson, A. E. (2004). *T. rex*, the crater of doom, and the nature of scientific discovery. *Science & Education*, 13(3), 155-177.
- Lederman, N. G. (1986). Relating teaching behavior and classroom climate to changes in students' conceptions of the nature of science. *Science Education*, 70(1), 3-19.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex.
- McNeill, K. L. (2009). Teachers' use of curriculum to support students in writing scientific arguments to explain phenomena.

Science Education, 93(2), 233–268.

- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2009). Synergy between teacher practices and curricular scaffolds to support students in using domain-specific and domain-general knowledge in writing arguments to explain phenomena. *Journal of the Learning Science*, 18, 416–460.
- Means, B. (1998). Melding authentic science, technology, and inquiry-based teaching: Experiences of the GLOBE program. *Journal of Science Education and Technology*, 7(1), 97–105.
- Metz, K. (2004). Children's understanding of scientific inquiry: Their conceptualization of uncertainty in investigations of their own design. *Cognition and Instruction*, 22(2), 219–290.
- Millar, R. (1998). Rhetoric and reality: What practical work in science education is really for. In J. Wellington (Ed.), *Practical work in science: Which way now?* New York: Rutledge.
- Miller, J. D. (2004). Public understanding of, and attitudes toward, scientific research: what we know and what we need to know. *Public Understanding of Science*, 13(3), 273–294.
- Mork, S. M. (2005). Argumentation in science lessons: Focusing on the teacher's role. *Nordic Studies in Science Education*, 1(1), 17–30.
- Moss, D.M., Abrams, E.D., & Kull, J.A. (1998). Can we be scientists too? Secondary students' perceptions of scientific research from a project-based classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 7(2), 149–161.

- National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2012). *A Framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academic Press.
- Nersessian, N. (1995). Should physicists preach what they practice? *Science and Education*, 4(3), 203–226.
- Nersessian, N. (2008). Model-based reasoning in scientific practice. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 57–79). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Nussbaum, E. M. (2008). Collaborative discourse, argumentation, and learning: Preface and literature review. *Contemporary Educational Psychology*, 33(3), 345–359.
- Nussbaum, E. M., & Schraw, G. (2007). Promoting argument-counterargument integration in students' writing. *The Journal of Experimental Education*, 76(1), 59–92.
- Nussbaum, E. M., Sinatra, G. M., & Poliquin, A. (2008). Role of epistemic beliefs and scientific argumentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 30(15), 1977–1999.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science*

- Teaching*, 41(10), 994–1020.
- Park, Y.-S. (2008). Analyzing science teachers' understanding about scientific argumentation in terms of scientific inquiry. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(3), 211–226.
- Park, Y.-S. (2010). Exploring scientific argumentation from teacher–student interaction with epistemological and psychological perspectives. *Journal of Korean Earth Science Society*, 31(1), 106–117.
- Reiff, R., Harwood, W.S., & Phillipson, T. (2002). Scientists' conceptions of scientific inquiry: Voices from the front. *Annual meeting of the national association for research in science teaching*, New Orleans, LA.
- Roth, W.-M. (1995). *Authentic school science*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Roth, W.-M., & Barton, A. C. (2004). *Rethinking scientific literacy*. New York, NY: Routledge Falmer.
- Roth, W.-M., & Lawless, D. (2002). Science, culture, and the emergence of language. *Science Education*, 86(3), 368–385.
- Runco, M. A. (1994). *Problem finding, problem solving, and creativity*. Ablex Pub. Corp.
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D., & Soloway, E. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337–386.

- Sadler, T. D., Burgin, S., McKinney, L., & Ponjuan, L. (2010). Learning science through research apprenticeships: a critical review of the literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(3), 235–256.
- Sadler, T. D., & Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, 12(6), 1463–1488.
- Sadler, T. D., & Fowler, S. R. (2006). A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation, *Science Education*, 90(6), 986–1004.
- Samarapungavan, A. (1992). Children's judgements in theory choice tasks: Scientific rationality in childhood. *Cognition*, 45, 1–32.
- Sampson, V., & Blanchard, M. R. (2012). Science teachers and scientific argumentation: Trends in views and practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1122–1148.
- Sampson, V., & Clark, D. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, 92(3), 447–472.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23–55.
- Sandoval, W. A., & Reiser, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic supports for scientific

- inquiry. *Science Education*, 88(3), 345–372.
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. (2006). Knowledge building: theory, pedagogy, and technology. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 97–119). New York: Cambridge University Press.
- Schnittka, C., & Bell, R. (2011). Engineering Design and Conceptual Change in Science: Addressing thermal energy and heat transfer in eighth grade. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1861–1887.
- Schwab, J. J. (1962). The teaching of science as enquiry. In J. J. Schwab & P. F. Brandwein (Eds.), *The teaching of science* (pp. 1–103). Cambridge, MA: Harvard University.
- Schwartz, R. S., & Crawford, B. A. (2004). Authentic scientific inquiry as context for teaching nature of science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science. Implications for teaching, learning, and teacher education* (pp. 331–355). Dordrecht: Kluwer.
- Schwartz, R.S., Lederman, N.G., & Crawford, B.A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610–645.
- Schwartz, R. S., & Lederman, N. G. (2008). What scientists say: Scientists’ views of nature of science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30(6),

727–771.

- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Schwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.
- Shen, B. S. P. (1975). Scientific literacy and the public understanding of science. In S. B. Day (Eds.), *Communication of scientific information* (pp. 44–52). Basel: Karger.
- Shum, S. B., & Hammond, N. (1994). Argumentation-based design rationale: What use at what cost? *International Journal of Human-Computer Studies*, 40(4), 603–652.
- Siegel, H. (1995). Why should educators care about argumentation? *Informal Logic*, 17(2), 159–176.
- Simon, S., Erduran, S., & Osborne, J. (2006). Learning to teach argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2/3), 235–260.
- Suárez, M. (2009). *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*. Routledge, London
- Suh, N. P. (2006) Application of axiomatic design to engineering collaboration and negotiation. *Proceedings of 4th International Conference on Axiomatic Design, ICAD06*, Florence/Italy, June

2006.

- Suppe, F. (1998). The structure of a scientific paper. *Philosophy of Science*, 65(3), 381–405.
- Suthers, D. D., Vatrapu, R., Medina, R., Joseph, S., & Dwyer, N. (2008). Beyond threaded discussion: Representational guidance in asynchronous collaborative learning environments. *Computers & Education*, 50, 1103–1127.
- Sutton, C. (1992). *Words, science and learning*. Buckingham: Open University Press.
- Tabak, I. (2004). Synergy: A complement to emerging patterns in distributed scaffolding. *Journal of the Learning Sciences*, 13, 305–335.
- Tang, A., Aleti, A., Burge, J., van Vliet, H. (2010). What makes software design effective? *Design Studies*, 31(6), 614–640.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- VandeWalle, D. (1997). Development and validation of a work domain goal orientation instrument. *Educational and Psychological Measurement*, 57(6), 995–1015.
- van Eemeren, F. H., Grootendorst, R., & Kruiger, T. (1987). *Handbook of Argumentation Theory: A Critical Survey of Classical Backgrounds and Modern Studies. Studies in Argumentation in Pragmatics and Discourse Analysis (PDA)*. Dordrecht–Holland: Foris Publications.
- Verheij, B. (2005). Evaluating arguments based on Toulmin's

- scheme. *Argumentation*, 19(3), 347–371.
- Voss, J.F. (1987). Learning and transfer in subject–matter learning: A problem solving model. *International Journal of Educational Research*, 11(6), 607–622.
- Watson, J., Swain, J., & Mcrobbie, C. (2004). Students’ discussions in practical scientific inquiries. *International Journal of Science Education*, 26(1), 25–45.
- Weinberger, A., & Fischer, F. (2006). A framework to analyze argumentative knowledge construction in computer–supported collaborative learning. *Computers & Education*, 46(1), 71–95.
- Wellington, J., & Osborne, J. (2001) *Language and literacy in science education*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Wickman, P.–O. (2004). The practical epistemologies of the classroom: A study of laboratory work. *Science Education*, 88(3), 325–344.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science education*, 87(1), 112–143.
- Wolfe, C. R., Britt, M. A., & Butler, J. A. (2009). Argumentation schema and the myside bias in written argumentation. *Written Communication*, 26(2), 183–209.
- Yoo, J., Kim, H. B., Cho, Y., Hwang, S., Park, J. Y., Ohno, E., Asakawa, K., Lee, D. W., & Lim, E. H. (2012). Design–based research for teacher professional development program on scientific

argumentation. *Paper presented at the World Conference on Physics Education.*

Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35–62.

Zion, M., Slezak, M., Shapira, D., Link, E., Bashan, N., Brumer, M., Orian, T., Nussinowitz, R., Court, D., Agrest, B., Mendelovici, R., & Valanides, N. (2004). Dynamic, open inquiry in biology learning. *Science Education*, 88(5), 728–753.

부록

<부록 1-1> ‘물과 소금물의 증발’ 실험의 간이 보고서 양식

[2011 2학기 물리화학실험]

본 설문은 “관찰 결과와 결과 해석의 변화 과정 관찰” 연구의 일부입니다. 본 연구는 예비교사의 ‘탐구실천’ 구성 과정의 확인 및 탐구능력 함양을 위한 교육 방법 제고를 목적으로 하고 있습니다. 본 설문은 학술적 연구를 위한 자료로만 이용되며, 다른 어떠한 용도로도 사용되지 않을 것입니다. 예비교사 여러분의 생각을 보다 정확히 나타낼 수 있도록 문항에 바깥집값이 답변해 주시기를 부탁드립니다. 여러분의 성실한 답변은 보다 정확한 연구를 위한 중요한 정보가 될 것입니다. 바쁜 학교생활에 실시된 설문에 응답해 주시는 여러분께 감사드립니다. 본 연구에 관련된 질문이나 연구의 제안은 교수님 혹은 연구자에게 연락해 주세요. 감사합니다.

연락처: 010-9421-0733 (연구 조교)

2011년 12월 13일

1. “물과 소금물의 증발” 실험의 결과가 어떻게 될 것이라 예상하셨나요?
 ① 수면의 변화가 없을 것이다. ② 소금물 쪽의 수면이 높아질 것이다.
 ③ 물 쪽의 수면이 높아질 것이다. ④ 기타 ()
2. “물과 소금물의 증발” 실험의 결과가 실제 실험으로 어떻게 나타났나요?
 ① 수면의 변화가 없다. ② 소금물 쪽의 수면이 높아졌다.
 ③ 물 쪽의 수면이 높아졌다. ④ 기타 ()
3. 위 실험을 위하여 몇 회의 실험을 수행하였나요? (실패라고 생각했던 실험 수행도 모두 포함입니다.)
 () 회
4. 3번 문항에서 1회 이상을 선택한 경우, 반복 수행을 한 이유는 무엇이었나요?
 (중복 응답 가능)
 ① 실험의 구성이 초기의 목적과 같지 않았기 때문에
 ② 실험 수행 후, 초기의 실험 목적과 다른 실험 목적이 필요했기 때문에
 ③ 실험 구성 혹은 장치에 문제가 발생했기 때문에
 ④ 기타 ()

<부록 2-1> ‘샤를의 법칙’ 논변 프로그램의 활동지

기체의 부피와 온도의 관계에 대한 과학적 논변 활동

1. 과제 목표

- 과학적 설명 모형의 측면: 본 과제는 교과서에 제시된 “온도와 기체의 부피 관계” (샤를의 법칙 확인) 실험에 어떤 문제가 있는지 유추하며 이를 해결하기 위한 방법을 이론과 실험결과에 근거하여 구성하는 것입니다.
- 논변의 측면: 실험 결과를 해석하고 평가하고 설명하는 과정에서 증거 및 이론에 근거하여 논리적으로 추론할 수 있습니다. 자신의 추론 결과나 다른 사람의 의견에 대하여 과학적 근거에 기반하여 지지, 반박, 평가하고 이를 통하여 공동으로 과학적 설명 모형을 구성할 수 있게 됩니다.

2. 과제의 진행 과정

과제 1. 문제점 탐색하기 (총 1시간 20분)

- 예상하기: 교과서에 나와 있는 실험의 문제점
- 실험하기: 실험을 수행하여 결과를 확인하기
- 설명하기: 실험에 영향을 주는 요인 탐색하기

과제 2: 대안 실험 구성하기(총 1시간 20분)

- 대안 실험 설계를 보고 개선된 요인을 확인하기
- 대안 실험 모형들 가운데 가장 나은 모형을 선택하고 그 이유 설명하기
- 선택한 실험을 수행하여 결과를 얻고 예상과 비교하기

과제 3: 수업설계 기초 작업(50분)

- 해당 논변 과제 중 본인의 수업에 반영할 부분 도출 및 수정

3. 과제의 진행 시 주의 사항

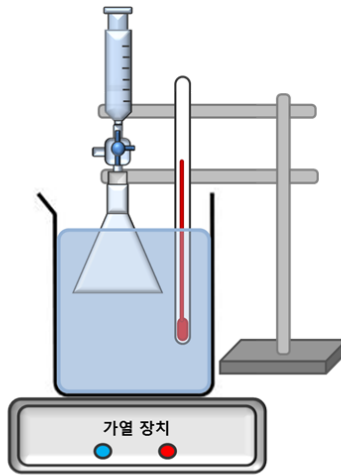
- 실험에서 사용하는 가열 장치는 작동을 멈춘 후에도 잔열이 남아 있으니 가열판을 만지지 않도록 주의하세요.

과제1. 온도와 기체의 부피 관계 실험의 문제점 탐색하기

단계1. 교과서 실험 확인

조: _____ 이름: _____

※ 찌그러진 탁구공을 뜨거운 물에 넣으면 탁구공이 펴지는 것처럼 온도가 높아지면 기체의 부피는 증가합니다. 이에 대한 정량적인 관계를 알아보기 위해서 다음과 같은 실험 방법을 문헌에서 찾았습니다.



1. 실험 과정

- ① 1000 mL 비커에 물을 2/3 가량 넣고, 온도계를 설치한다.
- ② 삼각플라스크에 고무마개를 끼우고, 삼방향 밸브를 이용하여 주사기와 연결한다.
- ③ ①의 비커 안에 ②의 삼각플라스크를 그림과 같이 장치한다.
- ④ 가열기를 이용하여 물의 온도를 올려주며 5개의 온도 지점에서 주사기의 눈금을 기록한다.
- ⑤ 삼각플라스크 내의 공기의 부피와 주사기 안의 공기 부피 부피를 더해서 기구 안의 공기 부피를 구한다.
- ⑥ 컴퓨터 엑셀 프로그램으로 기체의 부피와 온도의 관계를 그리고, 측정된 결과의 선형성 및 절대 영도를 계산해 본다.

과제1. 온도와 기체의 부피 관계 실험의 문제점 탐색하기

단계2. 예상 및 관찰

조: _____ 이름: _____

1. 이 방법으로 실험을 수행하여 어떤 부분이 정량적이지 않은 결과를 만드는지 예상해 봅시다. (개인)

2. 위의 실험을 수행하고 다음에 그 결과를 기록하고 해석해봅시다. (조별)

실험 결과 기록

온도 (°C)					
기체의 부피 (mL)					

선형성 확인(R^2):

계산된 절대 영도:

3. 예상했던 결과와 어떤 차이가 있으며, 원인은 무엇이라고 예상하십니까?(개인)

과제1. 온도와 기체의 부피 관계 실험의 문제점 탐색하기

단계3. 설명모형 구성하기

조: _____ 이름: _____

4. 3에서 예상했던 문제의 원인을 해소할 수 있는 실험의 방법을 고안하기 위해, 중요한 요인이라고 생각되는 원인부터 순서대로 각자 작성해 봅시다. (개인)

1	.....
이유:	.....
2	.....
이유:	.....
3	.....
이유:	.....
...

4-1. 다른 조원들이 문제 3에서 제시한 응답과 비교해 봅시다. 조원들의 의견과 다른 점을 찾아보고, 각 조에서 중요한 요인이라고 생각되는 원인부터 순서대로 작성해 봅시다. [자료 2]를 참고해 주세요.(조별)

1	.....
이유:	.....
2	.....
이유:	.....
3	.....
이유:	.....
...

4-2. 각 조에서 선정한 원인들을 해결할 수 있는 방법을 고안해 봅시다. (조별)

1.	.....
2.	.....
3.	.....
...

과제2. 기체의 부피와 온도의 관계

단계1. 대안 실험의 평가

조: _____ 이름: _____

1. 실험의 방법을 개선하기 위해서 어떤 학생들이 몇 가지의 변인을 추출하였고 이를 통제하기 위한 전략을 오른쪽 그림과 같이 세웠다. 이 실험 방법이 해결하고자 하는 문제의 요인 혹은 통제하려는 변인은 무엇일까요? 그리고 어떤 방법으로 제시했을까요? (개별)

요인 / 변인	해결 방법



2. 1에서 제시한 방법과 [과제 1]에서 작성한 조별 방법과 어떤 유사점이 있는지 혹은 어떤 차이점이 있는지 기록해 봅시다. (조별)

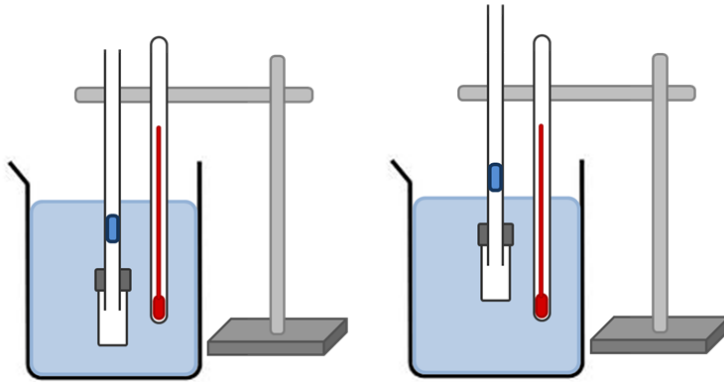
유사점	차이점

과제2. 기체의 부피와 온도의 관계

단계 2. 변인통제1

조: _____ 이름: _____

※ 앞선 실험을 설계한 학생들이 물방울의 위치에 대한 두 가지의 실험 전략을 두고 어떠한 방법이 옳은 것인지 고민하고 있습니다.



전략 1. 물방울이 _____

전략 2. 물방울이 _____

1. 두 가지의 실험 전략 중에서 변인 통제를 잘 설계한 실험이 어떤 것인지 예측해보고 각자의 이유를 설명해 봅시다. (개인)

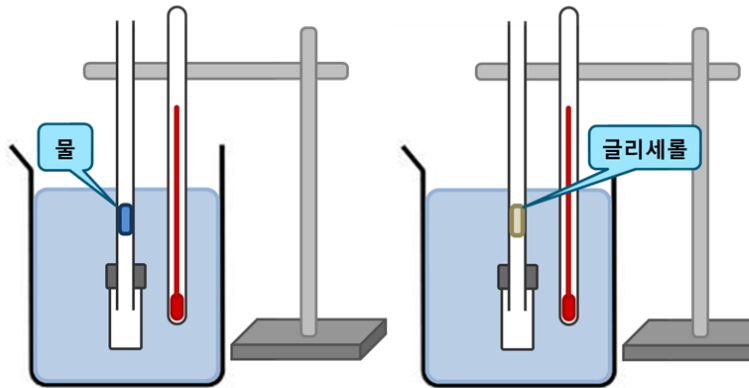
2. 두 가지의 실험 전략 중에서 변인 통제를 잘 설계한 실험이 어떤 것인지 예측해보고 조별의 의견을 정해 봅시다. (조별)

과제2. 기체의 부피와 온도의 관계

단계 3. 변인통제2

조: _____ 이름: _____

※ 다른 모둠의 학생들은 아래와 같이 사용하는 시료에 대한 두 가지의 실험 전략을 두고 어떠한 방법이 옳은 것인지 고민하고 있습니다.



1. 두 가지의 실험 전략 중에서 변인 통제를 잘 설계한 실험이 어떤 것인지 예측해보고 각자의 이유를 설명해 봅시다.

2. 두 가지의 실험 전략 중에서 변인 통제를 잘 설계한 실험이 어떤 것인지 예측해보고 조별의 의견을 정해 봅시다. (조별)

과제2. 기체의 부피와 온도의 관계

단계 4. 실험 수행 및 결론 도출

조: _____ 이름: _____

1. 앞서 두 가지 상황을 종합하여 조별로 결정한 실험 방법대로 실제 실험을 수행하고, 결과를 얻어 봅시다.

온도 (°C)					
기체의 부피 (mL)					

선형성 확인(R^2):

계산된 절대 영도:

2. 변인의 통제를 고려하여 예측했던 결과와 실험 결과를 비교해 봅시다.(개인)

3. 당신의 결론에 대해 얼마나 확신하시나요?

- ☐ 나의 결론이 옳다는 것을 전적으로 확신한다.
- ☐ 실험에서 구한 데이터를 가지고 최선의 결론을 내렸지만, 수집한 데이터가 충분하지는 않다.
- ☐ 실험에서 구한 데이터를 가지고 최선의 결론을 내렸지만, 실험 결과가 매우 불확실하다.
추가 실험을 한다면 다른 결론이 도출될 수 있을 것이다.
- ☐ 실험 데이터로부터 정량적인 실험 결과를 얻기에 효과적인 대안을 제시했다는 결론을 내리는 것은 불가능하다.
- ☐ 기타:

과제2. 기체의 부피와 온도의 관계

단계 5. 결론 평가 및 새로운 가설 설정

조: _____ 이름: _____

1. 조원과 상의하여 각자의 결론의 타당성을 검토한 후에 우리 조의 결론을 도출해봅시다. (조별)

2. 위의 문항에서 제시했던 실험과 비교해서 고려하지 못한 변인이 있나요? 그 변인이 실험 결과에 어떻게 영향을 미칠까요? 이 장치를 이용하여 위와 같이 비교하려면 어떻게 실험을 구성해야 할지 작성해 봅시다. (조별)

<부록 2-2> ‘샤를의 법칙’ 논변 프로그램의 읽기자료

<화학 논변 과제 자료 1>

이론적으로 온도에 따라 변화하는 공기의 부피

조: _____ 이름: _____

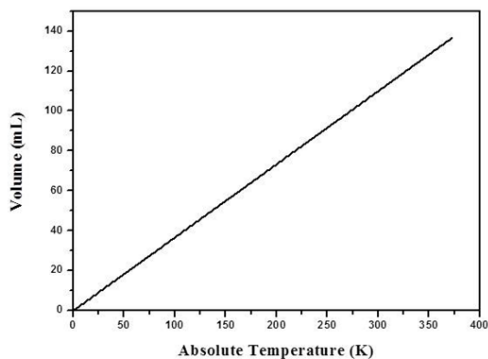
1800년경 샤를과 게이뤼삭은 독립적으로 “동일한 압력하의 기체의 부피는 온도에 따라 비례하여 선형적으로 증가한다.” 라는 기체의 부피와 온도 사이의 관계를 발견하였다. 발견 결과에 의하면 기체의 온도는 1 °C 오를 때 0 °C 부피에 비해 1/273 만큼 부피가 증가한다. 이를 이용해 기체의 부피가 이론적으로 0이 되는 절대 영도를 예측할 수 있으며, 절대 영도는 -273.15 °C로 예측된다.

1834년 물리학자 Émile Clapeyron가 보일의 법칙과 샤를의 법칙을 결합시켜 ‘이상기체 상태 방정식’을 만들었다. 이 관계식에 의해 압력과 온도에 의해 기체의 부피가 이론적으로 결정되며, 후대의 연구에 의해 현재 사용하는 형태의 관계식이 결정되었다. 아래의 식이 현재 사용하고 있는 이상기체 상태 방정식이다.

$$PV = nRT$$

(n : 기체 분자의 (몰) 수, R : 기체 상수(8.314 J/K·mol))

아래의 그림은 0 °C에서 100 mL에 해당하는 기체가 이론적으로 온도에 따라 부피가 어떻게 변화하는지 나타낸 그래프이다.



<화학 논변 과제 자료 2>

샤를의 법칙 실험에 대한 학생들의 반응

조: _____ 이름: _____

기체의 부피와 온도 사이의 관계에 대해 알아보기 위해 [과제 1]에서 제시한 실험을 학생들이 조별로 수행하였다. 실험을 수행하고 각 조당 1개씩 실험의 문제점에 대해서 발표하였다. 아래는 학생들이 응답한 내용이다.

[학생들이 생각한 문제점]

- 1조: “연결 부위의 밀봉이 제대로 되지 않아서 기체가 다 새어 나간 것 같아요.”
- 2조: “주사기의 고무가 너무 뻑뻑해요. 너무 뻑뻑해서 주사기가 안 밀린 것 같아요.”
- 3조: “샤를의 법칙은 이상기체가 따르는 식이잖아요. 공기는 이상기체가 아니니까 원하는 만큼 변하지 않은 것 같아요.”
- 4조: “삼각플라스크가 물에 완전히 잠겨야 하는데, 완전히 잠기지 않아서 안에 있는 공기의 온도가 삼각플라스크 안에서 위치에 따라서 다르지 않을까요?”
- 5조: “변하는 기체의 부피의 양이 너무 작은 것 같아요. 변화량이 작으니까 5 mL짜리 주사기로는 정확한 변화 수치를 알 수가 없어요.”
- 6조: “우리는 물의 온도를 측정했는데, 공기의 온도하고 물의 온도는 다르지 않을까요? 아마 측정한 온도보다 실제 온도가 낮을 것 같아요.”
- 7조: “연결된 주사기 방향이 위로 향해 있어서 안 되는 것 같아요. 대기압을 밀어내고 나와야 되잖아요.”

<부록 3-1> 부력 개념 검사지

부력 개념 검사 설문지

이름: _____

본 설문지는 _____ 학생들의 부력에 대한 개념을 조사하기 위하여 마련되었습니다. 설문을 통한 사전 연구는 프로그램에서 제공하는 과학적 현상과 개념을 학생들이 보다 효과적으로 이해할 수 있도록 돕고, 또한 본 프로그램의 교육적 효과에 관한 평가를 위해 계획된 연구의 일부분입니다. 본 설문지와 관련된 자료는 수업과 연구의 목적으로만 사용되며, 다른 자료로는 사용되지 않을 것입니다. 학생 여러분의 참여와 성실한 답변은 본 프로그램과 과학교육의 발전을 위한 중요한 자료로 사용될 것입니다. 연구에 관한 혹은 설문과 관련된 질문들은 담당 책임연구자 (백종호, 010-9421-0733)에게 문의하여주세요.

문항

상황

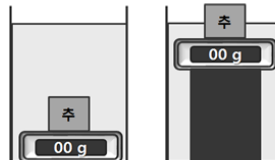
- 1) 금속 추의 무게를 재려고 합니다. 저울을 공기 중과 물속에 각각 두고, 추의 무게를 측정했을 때, 공기 중에서는와 물속에서의 무게를 비교하면 어떤 결과가 나올까요?



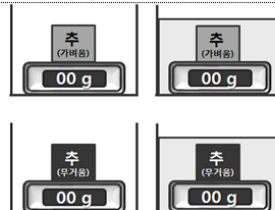
- 2) 무게, 부피, 모양이 모두 같은 두 개의 금속 추가 있습니다. 두 물체를 물에 잠기게 하는데 한 물체는 수조의 1/3 지점에, 다른 한 물체는 수조의 2/3 지점에 위치하도록 설치했습니다. 두 물체의 무게를 비교하면 어떤 결과가 나올까요?



- 3) 무게, 부피, 모양이 모두 같은 두 개의 금속 추가 있습니다. 한 물체는 물에 완전히 잠기게 하고, 다른 한 물체는 반만 물에 잠기게 하였습니다. 이 때 두 물체의 무게를 비교하면 어떤 결과가 나올까요?



- 4) 부피는 같지만 무게가 서로 다른 두 물체를 물속에 넣고 무게를 측정했습니다. 어떤 물체의 무게 변화가 더 클까요?



<부록 3-2> ATA 모형 적용 수업 활동지 A

[학생용 활동지]

“ **질량은 보존될까?** ”

조: _____ 이름: _____

THE MISSION

여러분은 지금부터 하반신 마비인 친구를 돕기 위해 하반신 부력 보조 수영복을 만들어야 합니다.
제공된 모형을 수영하기에 가장 적합한 도움을 줄 수 있는 부력을 결정하여 실용적인 디자인의 수영복을 만들어 주세요.

단계 0. 디자인 구상하기

초기 디자인 구상하기

- ① 하반신 마비로 인해 움직임이 불편한 친구를 도울 수 있는 보조 수영복을 만들어야 합니다. 자신의 수영복 콘셉트를 보여줄 수 있는 도안을 그리고, 상세한 설명을 포함해 주세요.



- ② 모든 친구들의 의견을 모아 우리조의 디자인을 만들어요. (모듬)



“ 질량은 보존될까? ”

조: _____ 이름: _____

들어가기 전에... 이렇게 할 거예요



1) _____ 하기



2) _____ 하기



3) _____ 하기



4) _____ 하기

THE MISSION

학생들은 풍선 속의 드라이아이스가 승화하는 상태 변화를 관찰하며 질량이 보존함을 확인해야 한다.



그림 1. 풍선 속 드라이아이스의 승화

단계 1. 문제 발견하기

(1) 예측

- ① 드라이아이스 작은 조각을 고무풍선에 넣고 풍선의 입구를 묶어 질량을 측정하고, 승화가 일어나 고무풍선이 부풀 후 질량을 다시 측정했을 때 두 측정값을 비교하면 어떻게 될지 예측하여 그렇게 생각한 근거와 함께 기록해 봅시다.

예상:

이유:

* Idea Note 작성하기

- ② 다른 친구들은 위의 결과에 대해 어떻게 예상했나요? 예상되는 결과에 대한 본인의 의견을 만들어 봅시다. (모둠)

단계 1. 문제 발견하기

(2) 관찰

<실험> 풍선 속 드라이아이스의 승화

- ① 작은 드라이아이스 조각을 핀셋을 이용하여 고무풍선에 넣는다.
- ② 풍선의 입구를 잘 묶는다. (풍선을 돌려 묶는 것이 빠르지만 이것이 어려운 학생은 실을 이용하여 묶도록 한다.)
- ③ 전자저울을 편평한 곳에 놓고 영점 조절을 한 후 드라이아이스가 든 고무풍선을 올려놓고 질량을 측정한다.
▶ 처음 질량 : _____
- ④ 얼마간 기다린 후 드라이아이스가 승화되어 풍선이 부풀면 질량을 다시 측정한다.
▶ 나중 질량 : _____
- ⑤ 상태변화 전·후의 질량을 기록한다.

주의할 점

1. 드라이아이스는 직접 만지지 않도록 하고, 부록이 단절할 상황에는 장갑을 끼고 만진다.
2. 드라이아이스 조각이 풍선 입구에 걸리면 풍선에 얼어붙어 집어낼 수 없기 때문에 풍선 입구 지름보다 작은 조각을 사용한다.
3. 드라이아이스가 너무 많이 승화되기 전에 풍선의 입구를 묶고 질량을 측정한다.
4. 전자저울의 사용법을 익히고 바르게 사용한다.

(3) 설명

- ① 상태변화 전·후의 질량에 대하여 예측 결과와 관찰 결과를 비교하시오.
예측과 관찰이 다르다면, 왜 다른지 이론적으로 설명해 보세요.

- ② 모두의 다른 친구들 의견을 들어보고, 친구의 의견에 찬성/반대하는지 이유를 정리해 적어 보세요.

- ③ 드라이아이스를 사용한 실험의 결과를 설명할 수 있는 모두의 모델을 만들어 봅시다. (모둠)

* 원기자료 1-3 참조



* Idea Note 작성하기

단계 2. 새로운 방법 고안하기

(1) 새로운 생각을 이끌어내기 1

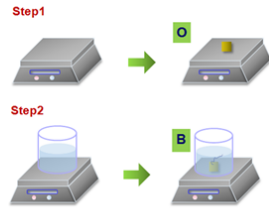
금속 추의 질량 재기 - I

- ① 다음과 같은 실험을 수행한다고 할 때, 질량은 어떻게 될까요? 예상과 이유를 적어 봅시다.

* 읽기자료 4, 5 참조



* Idea Note 작성하기



- ② 위 그림의 실험을 수행한 결과를 관찰하고, 측정된 질량을 기록해 봅시다.

O : _____

B : _____

- ③ 이 실험의 결과를 어떻게 설명할 수 있을까? 실험의 결과를 설명할 수 있는 모둠의 모델을 만들어 봅시다. (모둠)

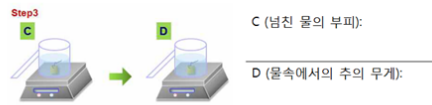
(2) 새로운 생각을 이끌어내기 2

금속 추의 질량 재기 - II

- ① 아래 그림의 실험을 수행한 결과를 관찰하고, 측정된 무게를 기록해 봅시다.
왜 이런 결과가 나왔을까요?



* Idea Note 작성하기



- ② 추의 무게(B)와 물속에서의 추의 무게(D) 사이의 관계를 식으로 표현하세요.

- ③ 위의 관계를 토대로 물속에서 무게가 감소하는 이유에 대해 정리해 봅시다.

- ④ 모둠의 다른 친구들 의견을 들어보고, 친구의 의견에 찬성/반대하는지 이유를 정리해 적어 보세요.

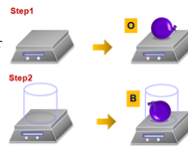
- ⑤ 물속에서 측정한 무게의 실험 결과를 설명할 수 있는 모둠의 모델을 만들어 봅시다. (모둠)

단계 2. 새로운 방법 고안하기

(3) 새로운 생각을 이끌어내기 3

풍선의 질량 재기

① 다음과 같은 실험을 수행한다고 할 때, 질량은 어떻게 될까요?



② 드라이아이스가 상태변화를 일으켜 기체가 되었을 때 측정한 무게가 감소한 이유를 위의 결과와 연관하여 설명하세요.



③ 모둠의 다른 친구들 의견을 들어보고, 친구의 의견에 찬성/반대하는지 이유를 정리해 적어 보세요.

④ 드라이아이스를 사용한 실험의 결과를 설명할 수 있는 모둠의 모델을 만들어 봅시다. (모둠)

* Idea Note 작성하기

단계 3. 검증하기

THE MISSION : 학생들은 풍선 속의 드라이아이스가 승화하는 상태 변화를 관찰하며 질량이 보존함을 확인해야 한다.

■ 이제 여러분은 앞서 배운 내용을 토대로 위에 제시된 '가', '나'의 상황에서 질량 보존을 확인할 수 있는 새로운 실험을 설계하고, 실험을 수행해야 합니다.

<문제 해결 과정>



■ 수행한 결과는 조별 발표로 발표해야 하며, 동료 간 평가를 하게 됩니다.

<발표에 포함되어야 할 내용>

- 설정한 가설 및 실험 설계
- 실험 과정 및 실험 결과
- 실험에 관한 결과 분석 및 논의
- 기타 동등 수행한 실험에 관한 모든 것



<발표를 통해 얻고 싶은 결과>

- ★ 조별로 문제 해결을 위해 설정한 가설에 대해 타당성을 피력하고 자신들의 주장이 옳음을 실험을 통하여 입증하기
- ★ 실험이 설계된 대로, 목표대로 수행되었는지 검증하기
- ★ 실험 결과의 우수성을 주장하기



<부록 3-3> ATA 모형 적용 수업 활동지 B

[학생용 활동지]

“ 친구를 위한 수영복을 만들자! ”

조: _____ 이름: _____

들어가기 전에... 이렇게 할 거예요



1) _____ 하기



2) _____ 하기



3) _____ 하기



4) _____ 하기

THE MISSION

여러분은 지금부터 하반신 마비인 친구를 돕기 위해 하반신 부력 보조 수영복을 만들어야 합니다.
제공된 모형을 수영하기에 가장 적합한 도움을 줄 수 있는 부력을 결정하여 제한된 금액 안에서
실용적인 디자인의 수영복을 만들어 주세요. (* Idea note와 이전 학습지 참조)

단계 1. 디자인 결정하기

(1) 기능 결정하기

- ① 하반신 마비로 인해 움직임이 불편한 친구를 도울 수 있는 보조 수영복을 만들어야 합니다. 보조 수영복에 필요한 기능들은 어떤 것들이 있을까요? 필요한 기능들을 생각해 봐요.

* 읽기자료 참조

(개인)	(모둠)
1.	1.
2.	2.



- ② 이전 시간에 학습한 내용을 참고하여 필요한 기능들을 구현할 수 있는 우리조의 디자인을 만들어요. (모듬)



우리조의 디자인은...

단계 1. 디자인 결정하기

(2) 부력 결정하기

- ① 모형이 물 위에 평행하게 뜨기 위해 얼마의 부력이 필요할까요. 모형의 밀도를 구하기 위해 부피, 무게를 측정하고, 밀도를 계산하세요.



- ② 모형이 물 위에 평행하게 뜨기 위해 필요한 부력의 크기를 결정해 봅시다.



(3) 디자인 형태 결정하기

- ① 계산한 부력의 크기와 밀도를 바탕으로 기능성의 측면에서 가장 적절한 형태의 모듬 수영복 디자인을 구상하고 설명해 봅시다.

내 디자인은...

- ② 모듬 친구들의 의견을 모아 우리조의 디자인을 만들어 봅시다. (모듬)

우리조의 디자인은...



(4) 수영복 재료 결정하기

- ① 제공된 수영복 재료 중에서 기능성과 실용성, 그리고 미적 측면을 고려하여 제작에 필요한 재료들을 선택하고, 이유를 적어 봅시다.

* 계통가표표 참조



(개인)

1.

2.

(모듬)

1.

2.

<p>(개인)</p> <p>1.</p> <p>2.</p>	<p>(모듬)</p> <p>1.</p> <p>2.</p>
---------------------------------	---------------------------------

단계 2. 산출물 제작하기

(1) 수영복 제작 및 시험 적용하기

① 제공된 준비물을 이용해 수영복을 제작하고 수조에 띄워 효과를 검증해 봅시다. 물에 띄운 결과를 기록하고, 과학적 원리를 포함하여 수정 방향을 모둠 안에서 같이 기록해 봅시다. (모듬)



결과	수정 방향
1차(사용금액:)	<p>예상되는 원인은...</p> <p>적용되는 과학 개념은...</p> <p>수정 방향은...</p>
2차(사용금액:)	<p>예상되는 원인은...</p> <p>적용되는 과학 개념은...</p> <p>수정 방향은...</p>
3차(사용금액:)	<p>예상되는 원인은...</p> <p>적용되는 과학 개념은...</p> <p>수정 방향은...</p>

② 상체와 하체가 평행하게 뜨기 위해 최적화된 부력의 크기를 결정하고, 디자인의 측면에서 추가로 고려해야 하는 요인들을 적용해 최종 디자인을 제출해 봅시다. (모듬)



단계 3. 공유하기

THE MISSION : 여러분은 지금부터 하반신 마비인 친구를 돕기 위해 하반신 부력 보조 수영복을 만들어야 합니다.

제공된 모형을 수영하기에 가장 적합한 도움을 줄 수 있는 부력을 결정하여 제한된 금액 안에서 실용적인 디자인의 수영복을 만들어 주세요.

- 이제 여러분은 앞서 수행한 과정과 결과물을 이용하여 수영복의 우수성을 설명하고 홍보하기 위한 제품 안내문을 제작해야 합니다. 어떠한 측면에서 실용적이며, 부력의 보조를 효과적으로 이루어내려 했는지 안내할 수 있는 포스터 자료를 만들어 주세요.

- 수행하는 발표는 동료 간 평가를 하게 됩니다.

<발표에 포함되어야 할 내용>

- 디자인 원리
- 부력의 크기 결정 과정과 적용 원리
- 산출물 제작 결과
- 기타 등등 제작한 산출물에 관한 모든 것

<발표를 통해 얻고 싶은 결과>

- ★ 모둠별로 설계한 디자인의 실용성 측면의 타당성을 제시하기
- ★ 설계한 디자인의 과학적 원리의 적용 측면을 설명하기
- ★ 자신들의 산출물의 효율성을 실험 결과를 이용하여 검증하기



<부록 3-4> ATA 모형 적용 수업 읽기자료

<읽기자료 1>

질량 보존의 법칙

(출처: 두산백과)

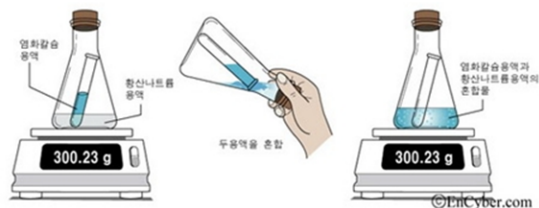


질량불변의 법칙이라고도 한다. 1774년 프랑스의 화학자 A.L.라부아지에에 의해서 발견되고, H.랑돌프(1908)와 L.외트비시(1909)에 의해 실험적으로 검토되어, 실험오차의 범위 내에서 충분히 성립된다는 것이 증명되었다.

즉, 화학반응의 전후에서 원물질(原物質)을 구성하는 성분은 모두 생성물질을 구성하는 성분으로 변할 뿐이며, 물질이 소멸하거나 또는 무(無)에서 물질이 생기지 않는다는 것이다.

다만, 아인슈타인의 상대성이론에 의하면, 반응열의 출입에 따르는 반응계의 에너지증감에 의해서 극히 미소하지만 반응계의 질량은 변화를 받으므로, 엄밀히 말하자면 이 법칙은 성립하지 않으며, 이런 뜻에서 이 법칙은 근사적인 법칙이라고 말할 수 있다.

그러나 방대한 반응에너지의 출입을 수반하는 원자핵 반응 등과는 달리, 보통의 화학반응에서는 계(系) 전체의 질량에 비해서 그 영향이 무시할 수 있을 정도로 작으므로 이 법칙은 성립되는 것으로 생각해도 무방하다. 사실상 란돌프의 실험에서는 항상 매우 적은 수치의 오차가 성립된다는 것이 확인되었다. 화학에서는 정량분석(定量分析)의 기본이 되는 중요한 법칙이다.



질량 보존의 법칙

<읽기자료 2>

드라이아이스와 승화

(출처: 두산백과)

고체탄산이라고도 한다. 우리 주변에서 드라이아이스는 아주 가까이에서 찾아볼 수 있다. 아이스크림을 녹지 않게 집까지 포장해서 가지고 올 때 아이스크림과 함께 넣어 주는 흰색의 덩어리는 얼음처럼 생겼지만 얼음과는 전혀 다른 물질이다. 드라이아이스라는 이 물질은 고체상태에서 녹아 바로 기체로 변화하는 승화성을 띠기 때문에 주위의 열을 흡수하여 온도를 급격히 낮춘다. 그러므로 함께 담겨진 물질을 차갑게 유지시키는 냉각제로 널리 쓰인다.

보통 얼음의 온도는 0℃이지만 드라이아이스의 온도는 무려 -78.5℃까지 내려가므로 드라이아이스를 만지거나 취급할 때에는 반드시 등상에 걸리지 않도록 장갑을 끼어야 한다. 또한 드라이아이스의 승화 시 발생하는 이산화탄소는 세균과 곰팡이 등 미생물의 번식을 억제하는 효과가 있는 것으로 확인되면서 냉동식품의 보관에 폭넓게 사용되고 있으며 드라마에서 공동묘지 분위기를 내거나 무대에서 노래하는 가수의 발 밑으로 안개효과를 낼 때에도 드라이아이스가 쓰이고 있다. 드라이아이스는 나프탈렌, 아이오딘과 함께 대표적인 승화성 물질이다.

한편, 승화란 물질의 상태변화에서 고체가 액체 상태를 거치지 않고 직접 기체로 변하거나 기체가 직접 고체로 변화하는 현상을 말한다. 나프탈렌, 드라이아이스 등을 공기 중에 놓아두면 상온(25℃)에서 액체가 되는 과정 없이 모두 기체로 변한다. 또 아이오딘 결정을 가열하면 액체로 변하는 용해 과정을 거치지 않고 보라색 기체가 되고, 다시 이 기체를 냉각시키면 액체가 되는 과정 없이 원래의 아이오딘 결정이 된다.

얼음도 0℃ 이하에서는 용해 과정 없이 기체가 되기도 한다. 얼어 있는 빨래가 마르거나, 눈사람의 크기가 며칠 지나면 작아지는 현상은 고체에서 기체로의 상태변화 때문이라고 할 수 있다.

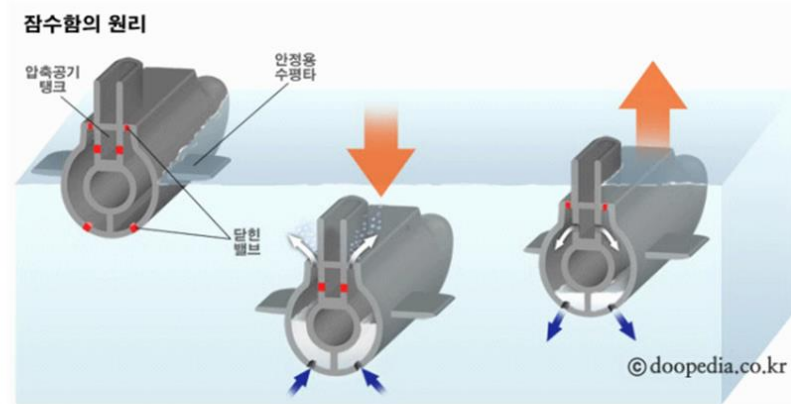
<읽기자료 4>

잠수함의 원리

(출처: 두산백과)

일반적으로 잠수함의 선체는 최대 잠항심도(潛航深度)에서 수압에 견딜 수 있는 내압성(耐壓性)이 강한 내각(內殼)과 비교적 얇은 철판으로 된 비내압성의 외각이 2중으로 되어 있고, 내각과 외각 사이에 해수를 주배수(注排水)하기 위한 밸러스트탱크(ballast tank)나 연료탱크를 설치한다. 그러나 소형함에는 선체가 한 겹의 내압선각(耐壓船殼)이고, 내부에 밸러스트탱크를 설치한 것도 있다. 전자를 복각형(複殼型), 후자를 단각형(單殼型)이라고 한다. 중형 잠수함에는 밸러스트탱크의 일부를 내각 안에, 일부를 외각에 설치한 것이 있으며 이것을 반각형(半殼型)이라고 한다.

내압선각은 내압강도를 높이기 위해 통상 원형으로 되어 있으나 타원형으로 된 것도 있으며, 강재(鋼材)의 두께는 제2차 세계대전시에는 100~150 mm였으나, 최근에는 200~350 mm로 강화되고 있다. 잠수함의 잠항이나 부상은 밸러스트탱크에 해수를 채우거나 배수에 의해서 이루어진다. 보통 경계상태에서 항행할 때는 밸러스트탱크의 주수(注水)밸브를 열어놓으므로, 해수는 항상 탱크에 출입하고 있는 상태가 된다. 따라서 탱크 상부에 있는 벤트밸브만 열면 해수는 즉시 탱크를 채워, 그 무게에 의해서 함이 잠몰하게 된다.



부상 시에는 이와 반대로 압축공기를 이용해 밸러스트탱크 내의 해수를 뽑아냄으로써 부력(浮力)을 증가시킨다.

<읽기자료 5>

사해

(출처: 위키피디아)

사해는 해수면보다 정확히 421 m 낮은 지점에 위치한 호수로 지구에서 가장 낮은 곳으로, 사해의 물은 기본적으로 지중해에서 유입된 바닷물이다. 400만년 전 지구 온난화를 비롯한 기후 대변동을 겪으면서 지중해의 해수면이 상승했는데 이 과정에서 바닷물이 지중해로 흘러들며 호수가 형성됐다. 지금으로부터 7만년 전 냉각기가 도래하면서 물이 더 이상 흘러들지 않게 됐고 이로써 현재의 사해보다 긴 225 km 길이의 거대한 호수가 형성됐다. 세월이 흐르면서 이 지역의 무더운 기후와 함께 호수의 물은 증발하기 시작했다. 호수면이 차츰 낮아지면서 지중해 해수면보다 낮아지기에 이르렀고 증발이 계속되면서 거대한 호수는 북쪽의 갈릴리 호수와, 남쪽의 사해로 나뉘게 됐다. 이 두 호수는 요르단강으로 연결되어 있다.

모든 소금이 그렇듯이 소금은 지표면의 모든 암석에 함유되어 있다. 빗물은 암석에 포함된 무기염을 하천으로 운반하고 이렇게 무기염을 함유한 하천은 바다와 해양으로 흘러들게 된다. 이러한 현상은 영구적으로 반복되지만 흘러들여간 소금은 바다 밑에서 퇴적되기 때문에 바다의 염도가 계속해서 높아지진 않는 것이다. 지중해 바닷물 1 L당 소금 함유량은 37 g이지만, 사해 바닷물의 소금 함유량은 275 g이나 된다. 사해의 소금 함유량이 높은 이유는 두 가지가 있다. 사해는 닫힌 바다에 속한다. 요르단 강으로 물이 유입되는 갈릴리 호수와 반대로 사해는 다른 곳으로 흐르지 못한다. 두 번째 이유로 더운 것을 꼽을 수 있다. 연중 25~40도에 이르는 더위로 인해 물의 상당수가 증발해버린다. 즉, 매년 100만 세제곱미터의 물이 증발하는데 무기염은 계속해서 축적되기 때문이다.



그림. 사해 근방에서 발견되는 암염(NaCl)

<읽기자료 6>

"장애인도 힘차게 물살을" 수영 보조기구 만든

(한국일보 2013년 1월 10일 기사)

인간공학 수강생 5명 머리 맞대고 40만원에... 산업기술센터 주관 기술 발표회서 대상 수상



하반신 마비로 수영을 할 수 없던 윤병환(가운데)씨를 돕기 위해 물에 뜨는 전신수영복(오른쪽 사진)을 만든

"자전거 바퀴 부품으로 만든 수영보조기구가 물에 뜨기나 할까."

조민규(26·4학년)씨의 이 같은 고민은 기우였다. 지난달 초 서울 관악구의 한 수영장에서 하반신 마비 장애를 가진 윤병환(42)씨는 조씨와 동료들이 만든 수영보조기구를 착용하고 힘차게 물살을 가로질렀다. 두 달 간의 노력이 결실을 맺는 순간이었다. 같은 인간공학 수업을 수강하던 조씨와 팀원들이 수영보조기구 제작에 착수한 것은 지난 9월말 학내 산업기술지원센터로부터 소개 받은 윤씨를 만나면서다. 평소 운동을 즐기던 윤씨였지만 하반신 마비로 인해 유독 수영만큼은 쉽지 않다는 나름의 불평을 들은 것이다.

팀장 조씨를 비롯해 같은 과 후배 이수영(25)씨와 간호학과 장지은(22)씨, 건축, 컴퓨터를 각각 전공하는 독일 교환학생 니코 카이나스(27)씨와 플로리안 운터슈타인(27)씨 등 다양한 전공자들로 구성된 팀은 각자의 전문분야를 살려 개발을 시작했지만 만만치 않았다. 다리에 착용하는 기구 형태로 설계까지 마쳤지만 다리에만 부력이 작용하면 상체가 물에 가라앉을 수 있다는 윤씨의 지적에 작업은 원점으로 돌아갔다. 기구를 착용하고 수영할 때 주변 사람들의 시선이 쏠리는 점도 윤씨로서는 피하고 싶었다. 팀원들은 전신 수영복 형태로 설계를 바꿨지만 이번에는 돈이 문제였다. 수영복에 부착할 공기 주머니를 제작하기 위한 주형 틀을 맞추는 비용만 1,000만원이 넘었다. 학생 신분으로는 도저히 감당할 수 없는 돈이다. 독일 유학생 니코씨가 자전거 바퀴 튜브를 아이디어로 제시하면서 제작은 다시 시작됐지만 예산 절감을 위한 눈물겨운 노력은 계속됐다. 시중의 스킨스쿠버 복을 활용해 비용을 줄였지만 이를 수선할 수 있는 세탁소를 찾기 위해 신림동 인근을 죄다 뒤졌고 상체 부력 향상을 위해 수영장 칩판을 일일이 잘라 붙이는 수작업을 한 끝에 단돈 40만원으로 물에 뜨는 전신수영복을 만들었다. 학생들이 만든 보조기구를 시험해 본 윤씨는 "다리가 물에 잘 뜰 뿐만 아니라 펌프를 이용한 공기 주입량 조절도 가능해 물속에서의 자세 교정이 편하다"며 크게 만족했다.

이들이 제작한 수영보조기구는 지난 달 28일 서울대, 숭실대, 중앙대, 이화여대 등 16개 학생 팀이 참가한 산업기술센터 주관의 '함께하는 기술 발표회'에서 대상을 수상했다.

학생들을 지도한 교수는 "장애인뿐 아니라 노인들을 비롯해 어부, 해양경찰 등 수중 활동이 많은 직종에 아주 유용할 것으로 보여 특허 출원을 추진하고 있다"고 말했다.

Abstract

Understanding Problem Solving Process Based on Argumentation in Scientific Inquiry of Authentic and Ill-structured Problem

Jongho Baek

Department of Science Education

Chemistry Education Major

The Graduate School

Seoul National University

The goal of science education is to foster the scientifically literate individuals who could solve the problems of daily life with critical and rational thinking. Scientific inquiry is used and studied as the methods

and strategies of learning which enable learners to scientifically interpret the problems and explain the phenomenon in the long time. Generally, scientist's activities include the process to investigate phenomena, to organize valid explanation, and to persuade the other scientists for reaching the consensus which acquired justification. This study explored the ways to apply authentic scientific inquiry which is conducted by scientists in school science. To achieve this investigation, the study developed the inquiry which is emphasized to use the problems which are inconsistent between evidence and theory problem, and identified the issues that were revealed throughout the results. Based on the results, this study suggested the inquiry program which could support learners to solve the problem with authentic thinking.

In the first study, the results of scientific inquiry performed by 21 undergraduates was analyzed to explore the strategies of defining problems. They conducted inquiry to explain about 'what if water and salt water were leaved in closed system until there was no change?' during 6 weeks. According to results which were analyzed through inquiry process and coordination of theory and evidence when experimental evidence were not consistent with theory, 9 groups of 10 groups used the strategy of optimization. The purpose of this strategy was an acquirement the experimental results which are correspond with theory, and this strategy was interpreted the data

by theory-based epistemological practice. Meanwhile, one group used the strategy of formulating extended problem, and presented the own result which was different with others. Through the process of a transformation from evidences to pattern, they defined the revised problem which was induced by evidence-based evaluation. The groups who used the strategy of optimization communicated with other learners for sharing the experimental methods or process that enable to improve results. Otherwise, the group who used the strategy of formulating extended problem used communication for collecting the evidences that was derived from other groups, and evaluating validity and reliability of the evidences. Based on the results, the researcher suggest that it is important to develop the teaching-learning strategy which promotes learners to engage in epistemic discourse, such as discussion about analyzing, and evaluating data, evidence, and theory.

The aim of the second study was to develop an inquiry-based argumentation task, through identification of issues for the substantial experience of argumentation. In order to promote argumentation, the study developed an argumentation tasks by utilizing the experiment on ‘the relation between temperature of gas and volume’ and revised the tasks by the results applied to science teachers. The researcher analyzed the argumentation of the teachers on the basis of Toulmin’s Argumentation Pattern (TAP), and rationality of claims. The results show that explicit task prompts

which facilitated topic of argumentation into variations, and guided to make consensus were more efficient to induce active discussion rather than forms of open inquiry. According to argumentation patterns in POE, experimental results was used as the core evidence which finalized the discussion, especially explanation step.

Based on the study's results, the researcher suggest practical implications for developing problems and tasks to induce active argumentation in more various contexts. Authentic Thinking with Argumentation(ATA) model is designed to promote authentic thinking, such as reasoning, and reflection through evidences, by utilizing an argumentation as the core epistemic practice. For this purpose, ATA model used complex problem in the real world, and aimed to solve problem through evaluating evidences and coordinating theory or prediction and evidences, the ATA model integrated the scientific inquiry and design. This study explored the problem solving process performed by middle school students in integrated between 'buoyancy' and 'design swimsuit for paraplegic patients' program. Participants specified the scientific concepts as the core premises for effective designing, engaged in discourse based on the premises, and generated a validated swimsuit which was evaluated from argumentation. In the process of scientific problems solving, participants comprehended scientific concepts of buoyancy through modifying their own models to extended scientific models in

the inconsistency of evidence and theory. To solve the ill-structured problem, they established premises, and strategic processes. For implementation of strategic processes, it was need to conduct intuitive thinking and analytic thinking.

Based on the finding in three studies, it is possible to contribute to understand how learners solve the problems through coordinating evidence and theory, and scientific argumentation. The results of this study suggest the direction of inquiry to enhance the scientific thinking and ability, developing the learning models which involve ill-structured problem. Future studies are necessary to elaborate problem solving process and learning strategies, and to expand the results of this study within the various learners, contexts, and subjects.

Keywords: Scientific inquiry, Argumentation, Convergence education program, Ill-structured problem, Scientific model

Student Number : 2008-21631